



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
SISTEMAS – INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN COMO HERRAMIENTA
PARA IMPLEMENTAR UNA ESTRATEGIA DE OPTIMIZACIÓN LOGÍSTICA

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ACT. GUILLERMO ALFONSO MARTÍNEZ AGUILAR

TUTOR:
DRA. MAYRA ELIZONDO CORTÉS

MÉXICO, D. F. MARZO 2013

JURADO ASIGNADO:

Presidente: M. I. Soler Anguiano Francisca Irene

Secretario: Dr. Aceves García Ricardo

Vocal: Dra. Elizondo Cortés Mayra

1^{er.} Suplente: Dr. Bautista Godínez Tomás

2^{d o.} Suplente: Dr. Acosta Flores José Jesús

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Facultad de Ingeniería

TUTOR DE TESIS:

DRA. MAYRA ELIZONDO CORTES

FIRMA

Resumen

Esta tesis tiene como objetivo mostrar que mediante las Tecnologías de la Información y la Comunicación es posible que personas involucradas en los procesos logísticos de una empresa, pero que no cuentan con la capacitación adecuada, puedan beneficiarse del uso de estrategias logísticas (complejas en varios casos) sin la necesidad de una capacitación especial.

Para lograr este objetivo se desarrolló un sistema muestra cómo se pueden combinar procesos complejos y dar resultados simples. Por un lado, se tiene un componente que implementa una estrategia para resolver el problema de “Inventario-Distribución” (en el segundo capítulo se detalla el problema así como la estrategia de solución), estrategia que permite apreciar la complejidad del problema. En contraparte, el sistema utiliza el componente anterior para resolver un problema hipotético, pero cuyos resultados pueden ser vistos en cualquier dispositivo con acceso a Internet que soporte la tecnología de Google Maps. Tecnología que es empleada todos los días por todo tipo de personas para encontrar una dirección así como la forma de llegar hasta ella.

Introducción	I
Capítulo 1 Antecedentes	1
1. 1. Distribución de las empresas en México	1
1. 2. Situación de la Logística en México	2
1. 2. 1. Costos logísticos	
1. 2. 2. Niveles de servicio de las empresas mexicanas	
1. 2. 3. Técnicas de planeación Logística	
1. 2. 4. Entrenamiento, capacitación y certificación del personal.	
1. 2. 5. Tecnología	
1. 3. Situación de la Telefonía e Internet en México	8
1. 4. Consideraciones finales	10
2. Marco de Referencia	11
2. 1. Antecedentes de las Tecnologías de la Información y la Comunicación en la Investigación de Operaciones	11
2. 2. El uso actual de las Tecnologías de la Información y la Comunicación en la Logística	14
2. 2. 1. Gestión de almacenes.	
2. 2. 2. Gestión de pedidos y distribución.	
2. 2. 3. Gestión de aprovisionamiento y Pronósticos.	
2. 3. Tecnologías de la Información y la Comunicación	18
2. 3. 1. Definición	
2. 3. 2. Sistemas orientados a servicios	
2. 4. Tecnologías necesarias para implementar las soluciones referidas	21
2. 4. 1. Redes de comunicación	
2. 4. 2. Intercambio de Electrónico de Datos	
2. 4. 3. Sistemas de identificación por códigos de barras	
2. 4. 4. Sistemas de identificación por radiofrecuencia (RFID) o etiquetas inteligentes	
2. 5. Casos de Éxito	26
2. 6. Conclusión	30
Capítulo 3 Sistema Propuesto	31
3. 1. Problema de Inventario - Distribución (cadena de suministros)	31
3. 1. 1. Formulación del modelo	
3. 1. 2. Estrategia de Descomposición Cruzada Separable	
3. 2. Desarrollo del Sistema	41
3. 2. 1. Organización del sistema.	
3. 2. 2. Paquete de datos	
3. 2. 3. Paquete de lógica del negocio	
3. 2. 4. Paquete Vista	
3. 2. 5. Paquete Util	
3. 2. 6. Secuencia del sistema	
Capítulo 4. Resultados de la aplicación	50
4. 1. Resultados a partir de problemas conocidos de inventario-distribución	50
4. 2. Resultados obtenidos a partir de establecimientos ubicados en la Ciudad de México	52
4.2.1. Estado Inicial	
4.2.2. Simulación de Ventas	
4.2.3 Generación de Rutas	
Capítulo 5 Observaciones y sugerencias	65

5. 1. Observaciones sobre el modelo de optimización	65
5. 2. Observaciones sobre tecnología.	65
5. 3. Estrategias sugeridas para desarrollar un Sistema Comercial	66
5. 4. Consideraciones	67
5. 4. 1. Limitaciones del modelo de optimización	
5. 4. 2. Seguridad	
5. 4. 3. Desarrollo y capacidad de integración con otros sistemas	
5. 4. 4. Mantenimiento, documentación y capacitación	
5. 4. 5. Servicios Web.	
Conclusiones	70
Apéndice A. Guía para implementar una estrategia de optimización usando Tecnologías de la Información y la Comunicación	73
Modelo de Negocios	74
Requisitos	75
Análisis y Diseño	78
Implementación	79
Pruebas	79
Despliegue	80
Bibliografía	81
Recursos Digitales	83
Artículos	83
Sitios Web	83

Introducción

Toda empresa, tanto una transnacional como una micro empresa, se trate del sector gobierno o de iniciativa privada, tiene requerimientos que deben ser cumplidos para que pueda operar. En muchos casos dichos requerimientos son productos provistos por otras empresas, las cuales nuevamente pueden ser de diversos tamaños, sectores, etc. Pero en cualquier caso, el tener el producto adecuado en el momento preciso, se traduce en un beneficio tanto para el que lo provee como para el que lo requiere.

La Investigación de Operaciones le ha dado a las empresas, la posibilidad de mejorar su forma de tomar decisiones, las cuales se ven reflejadas en mejoras para la empresa, ya sea aumentando la producción o bien reduciendo costos. La administración Logística ha sido una de las principales áreas afectadas por la Investigación de Operaciones. Problemas de creación de rutas, distribución e inventario, han sido estudiados exhaustivamente y aún ahora se siguen haciendo estudios para estos problemas con avances significativos.

Por otro lado, la tecnología ha jugado un papel importante en la forma en la que las empresas se organizan, y asimismo ha influenciado la forma en que la Investigación de Operaciones trabaja, dando impulso a esta rama del conocimiento. Por un lado, la creación y uso de las computadoras que permiten resolver problemas complejos, donde el número de variables involucradas así como el tiempo de solución, han aumentado y disminuido respectivamente.

Además de la capacidad de cómputo, desde principios de los años noventa se ha dado un gran cambio en el campo de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC). El salto que dio la Internet, cambió por completo la forma de comunicarnos, de obtener información, servicios, hacer compras e inclusive hasta de divertirnos. Ahora más que nunca antes, la idea de estar un mundo pequeño cobra total sentido.

Sin embargo, a pesar de estos avances, dicha revolución tecnológica, junto con diversos factores económicos, ha traído consigo nuevos retos que tienen que ser afrontados. Así como ahora se puede tener un proveedor, un comprador o un socio ubicado del otro lado del mundo, es también de ahí y de cada rincón del mundo que surgen nuevos competidores, que no sólo compiten en el producto en sí, sino en precio, tiempo de entrega, volumen de producción, calidad, etc.

Es por esta razón, que cualquier ventaja que se pueda obtener debe ser aprovechada, y naturalmente tanto la administración Logística como las tecnologías de la información, son herramientas que no sólo permiten lograr mejoras en las empresas, también pueden marcar la diferencia entre triunfar en el mercado o simplemente sobrevivir en él.

Es precisamente esta última situación, sobrevivir en el mercado, la que enfrentan varias de la micro, pequeñas y medianas empresas del país. Ya que, como se muestra en el capítulo uno, es frecuente que dichas empresas desaprovechen las ventajas que la tecnología ofrece. Además de que el personal muchas veces no cuenta con la preparación suficiente para encarar los problemas que enfrentan.

Este documento toma como punto de partida la tesis doctoral “Estrategia para resolver el problema de Inventario – Distribución” (Elizondo, 2005) en la cual, como su título indica, se estudia uno de los problemas más comunes que afrontan las empresas que forman parte de la cadena de suministros, el Inventario – Distribución. El problema se resuelve utilizando la estrategia de Descomposición Cruzada

Separable, sin embargo, para poder hacer uso de esta estrategia, el proveedor necesita conocer los niveles de demanda de sus clientes.

Para conocer la demanda de los clientes se asume que la tecnología proveerá los datos mediante dispositivos de Intercambio Electrónico de Datos (EDI, por sus siglas en inglés). Desafortunadamente, este tipo de dispositivos son vistos por muchas de las micro, pequeñas y medianas empresas como gastos, no sólo por su adquisición sino también por la capacitación necesaria para poder emplearlos y darles mantenimiento.

Es aquí donde las Tecnologías de la Información y la Comunicación proporcionan nuevas oportunidades para difundir el conocimiento en beneficio de las empresas. En esta tesis se ilustra que no es necesaria la adquisición de dispositivos especiales o contar con conocimientos especializados para beneficiarse de los resultados de, en este caso, la estrategia Descomposición Cruzada Separable, o de cualquier otra estrategia Logística que se implemente.

Basta con contar con tecnología más simple, los teléfonos celulares por ejemplo, para poder realizar la mayoría (y en ocasiones todas) de las tareas que realizan los dispositivos EDI. Además de que si se cuenta con un buen diseño, la aplicación que se instale en los celulares no debe requerir de conocimientos especiales por parte del usuario para poder emplearla.

Objetivo de la tesis

Ilustrar que mediante el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación es posible difundir el uso de estrategias de Optimización Logística en usuarios que no necesariamente cuentan la formación y/o los conocimientos para comprender dichas estrategias.

Para lograr este objetivo se desarrollará un sistema que implemente una estrategia de optimización Logística (Descomposición Cruzada Separable para el problema de Inventario - Distribución) pero cuyos resultados sean presentados de forma sencilla haciendo uso de la tecnología de Google Maps, de tal manera que la complejidad de la estrategia de Optimización quede encapsulada en el sistema de tal forma que el usuario no necesite comprenderla.

Así, el contenido de la tesis queda de la siguiente forma:

- Capítulo 1: Se muestra un panorama de las empresas en México y su situación Logística, así como el potencial que tiene el país para hacer uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación sin necesidad de grandes inversiones en infraestructura.
- Capítulo 2: Se establece el marco teórico, se define el concepto de Tecnologías de la Información y la Comunicación, y como han sido empleadas en el área Logística, así como su estado de arte. También se determinan las tecnologías que se emplearon para desarrollar el proyecto (Google Maps y Orientación a Objetos con Java como lenguaje de programación).
- Capítulo 3: Se muestra el sistema propuesto, se define el problema de Inventario-Distribución, la forma de resolverlo, las estructuras que conforman el sistema.
- Capítulo 4: Se muestran los resultados obtenidos.

- Capítulo 5: Se señalan los puntos relevantes encontrados en los resultados y se establece una guía en la que se plasman las experiencias logradas durante el desarrollo con el fin de compartirlas y sirvan de referencia para otros desarrollos.
- Conclusiones.
- Por último, se muestran las referencias utilizadas en la elaboración de esta tesis.

Alcance

El sistema propuesto consiste en una simulación que muestre cómo se combinan métodos de optimización aplicados a la Logística y Tecnologías de la Información y la Comunicación, de tal manera que sirva como referencia para crear mecanismos más elaborados para problemas específicos aprovechando la facilidad para difundir información a través de la Internet. En el sistema:

- No se toman en cuenta restricciones de horario para la distribución.
- Existe un sólo tipo de producto para distribuir.
- Se toma la distancia entre dos puntos por medio de la línea recta que los une.
- Sólo existe un almacén central desde el cual inicia la distribución.
- Los datos al inicio de la simulación son fijos, es decir, no permite que el usuario ingrese sus propios datos.

Capítulo 1 Antecedentes

1. 1. Distribución de las empresas en México

Como se puede observar en la Figura 1. 1. La mayor parte de las empresas en México son micro o pequeñas empresas (Censos Económicos, 2009). Según datos de la Secretaría de Economía este sector tiene el crecimiento más dinámico del país y pueden competir “exitosamente” en mercados cada vez más exigentes.

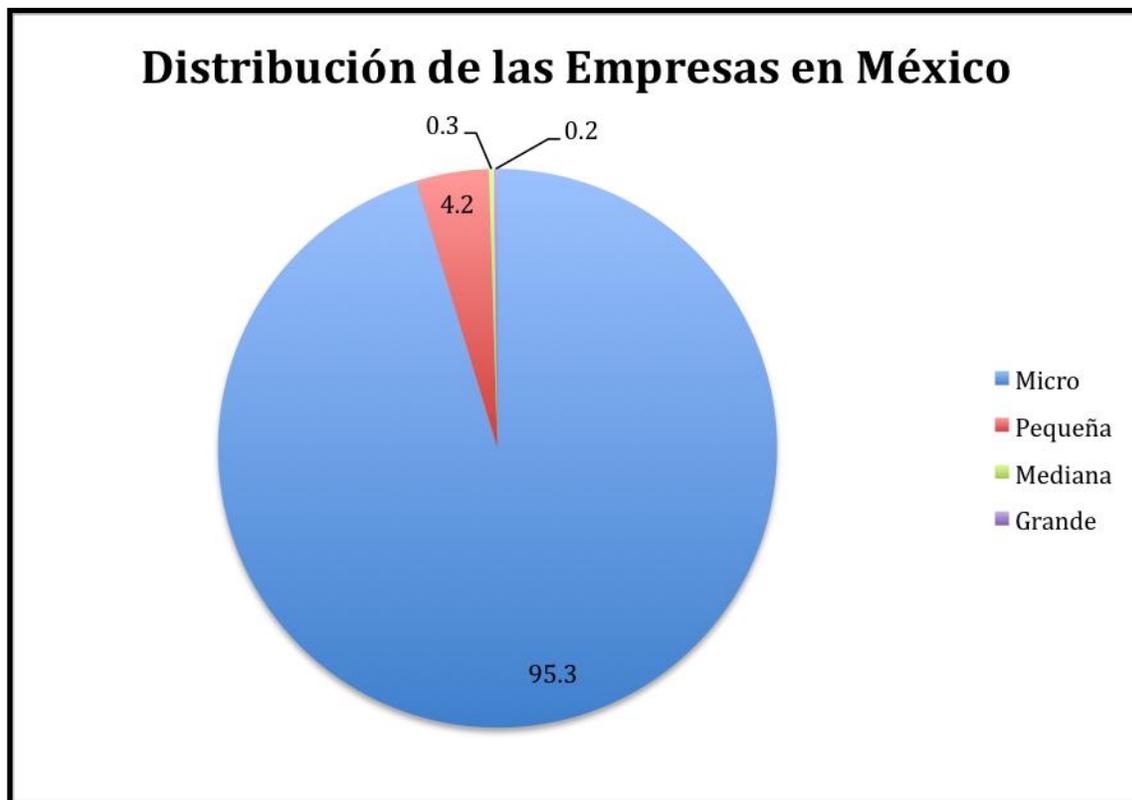


Figura 1.1 Distribución de las empresas en México Fuente: Censos económicos 2009.

Sin embargo, a pesar de que pueden ser competitivas en sus diferentes sectores, prácticamente todas enfrentan una serie de problemas en común, tales como la adquisición de insumos, transporte y distribución de sus productos, almacenamiento, control de inventarios, listas de espera. Dependiendo del sector se pueden agregar elementos como caducidad de los productos, manejo de materiales tóxicos, tiempos de atención, etc. Todos estos problemas son atacados mediante diversas estrategias de optimización Logística que, naturalmente, requieren de personal capacitado con la que las empresas no siempre cuentan.

Si a esto agregamos los problemas tales como la apertura comercial no planificada, devaluaciones, inflación, infraestructura regional deficiente, falta de estímulos fiscales, escasa incorporación tecnológica, sistemas de administración deficientes, etc; es evidente que cualquier mejora tendrá una repercusión sustancial en las empresas. En esta tesis se plantea una mejora basada en técnicas de optimización, y aprovecha las tecnologías de la información y la comunicación para mostrar lo “fácil” que resulta incorporarlas aún en empresas de bajos recursos.

1. 2. Situación de la Logística en México

Si bien México ha tenido un crecimiento considerable en el aspecto económico, el hecho es que hay muchos aspectos en los que se puede mejorar de manera sustancial. De acuerdo con el Instituto Mexicano para la Competitividad (Agenda de Competitividad en Logística, 2008), México ocupó el lugar 30 de 48 en su indicador global de competitividad en 2004, para el año 2007 descendió 2 posiciones situándose por debajo de Chile, Costa Rica, Panamá y Brasil. Si bien esto se debe a varios factores, lo que es innegable es que se deben de aprovechar todos los recursos disponibles para revertir la situación.

En el campo de la Logística, en el año 2007 se realizó un estudio por el Banco Mundial con el objetivo de medir el Índice de Desempeño Logístico, para dicho estudio se consultaron a 800 profesionales en Logística de 150 países. Los elementos que se tomaron en cuenta fueron:

- Nivel de eficiencia en las aduanas;
- Calidad de la infraestructura de transporte y tecnologías de la información empleadas en Logística;
- Facilidad y posibilidad de llegar a un acuerdo costeable en embarques internacionales;
- Competencia nacional en el sector logístico;
- Habilidad de trazar y dar seguimiento a embarques internacionales;
- Costos logísticos domésticos (transporte);
- Tiempos empleados hasta el punto de destino.

Los resultados para México fueron los siguientes:

	Posición (de 150)	Puntaje (sobre 5)
Aduanas	60	2.5
Infraestructura	53	2.68
Embarques	53	2.91
Competencia Logística	57	2.8
Trazabilidad y seguimiento	48	2.96
Costos logísticos	101	2.79
Tiempos	51	3.4

Posteriormente, en 2009 se repitió el estudio, en esta ocasión México ocupó el lugar 49 de entre 152 países que comprendió la prueba (Figura 1.1).

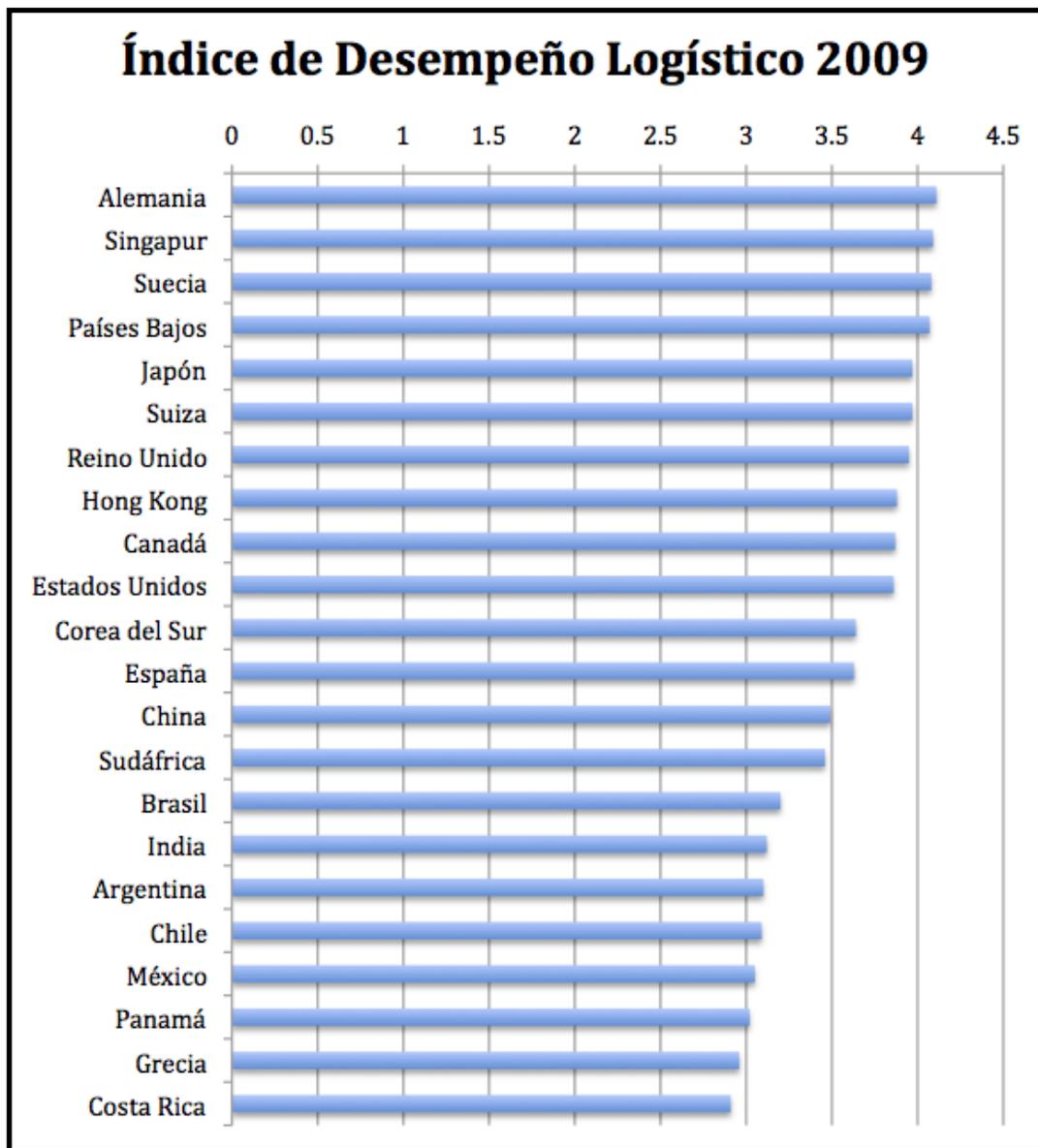


Figura 1.2 Índice de Desempeño Logístico 2009, se muestran solo algunos países, el lugar de México en el estudio fue el 49 de 152. Fuente: En Línea, Banco Mundial, 2009.

Como se puede observar, la situación de la Logística en México dista mucho de ser la mejor, en particular si tomamos en cuenta la posición que tiene actualmente el país dentro de la economía mundial. Esto implica que el país tiene un alto potencial para mejorar, en particular en costos logísticos, y como se verá más adelante en este capítulo, es en el campo de las TIC que se pueden hacer mejoras que repercutan en todo el sistema.

1. 2. 1. Costos logísticos

De acuerdo a una estimación realizada por AT Kearney (Agenda de Competitividad en Logística, 2008), los costos logísticos representan el 12.6 % de la venta de las empresas mexicanas, dividiéndose 40% para el transporte y 60% en inventarios, procesamiento de pedidos, almacenaje y planeación de

gestión de operaciones de transporte (Figura 1.3). Cabe señalar que en México el transporte por carretera constituye el 58% de los medios para el transporte de mercancías, el 28% se transporta por agua, el 8% por tren 6% por aire (Figura 1.4).

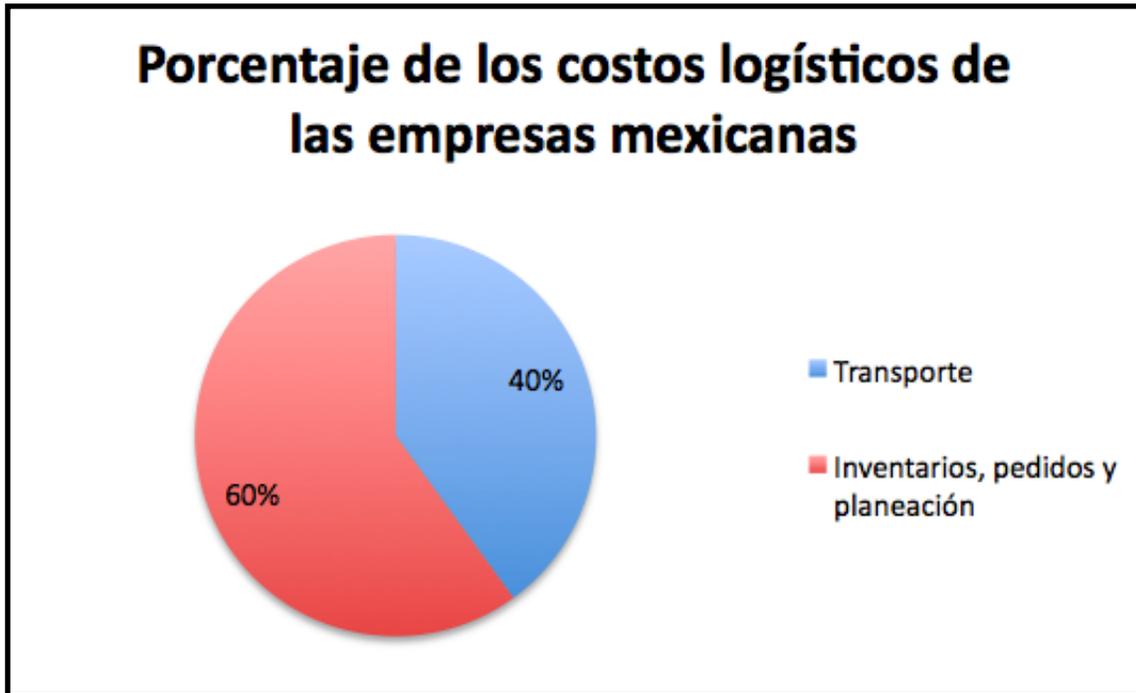


Figura 1.3 Porcentaje de costos logísticos en México. Fuente: En Línea Secretaría de Economía, 2009.

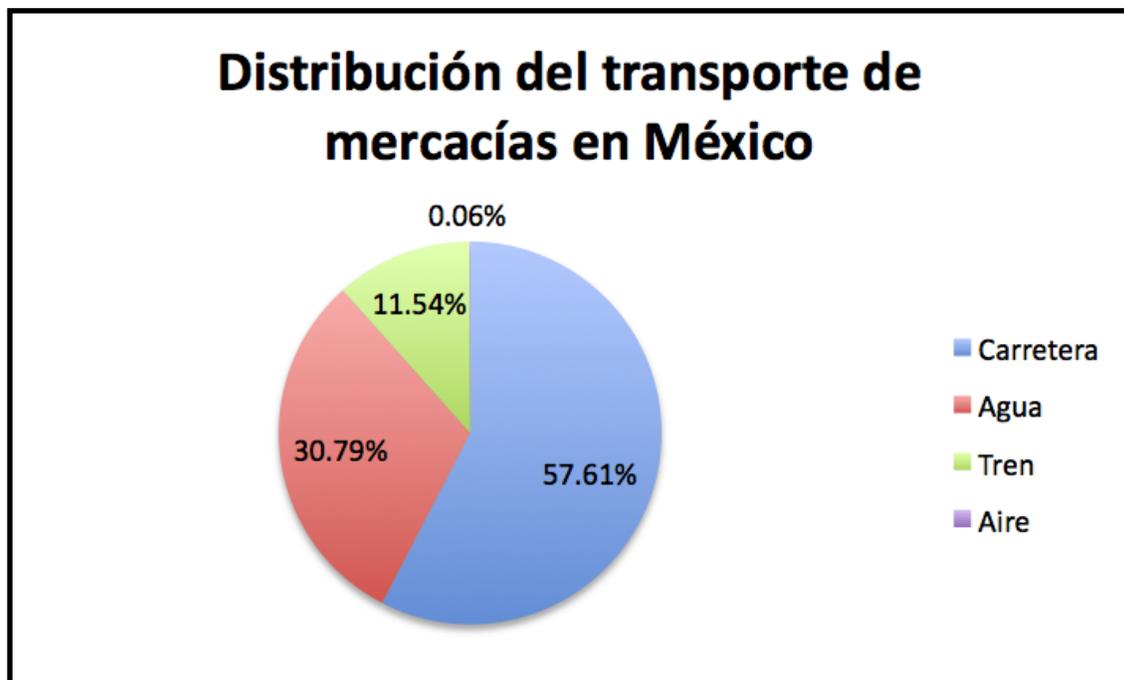


Figura 1.4. Distribución del transporte de mercancías en México. Fuente Estadística de Bolsillo, 2010.

Cabe señalar que en lo referente al transporte terrestre existen otros factores que encarecen el costo, las cuales son:

- Las empresas que poseen flotas privadas no pueden prestar servicio de carga a terceros, lo cual fomenta el uso ineficiente de sus recursos;
- Alto costo del cruce fronterizo a Estados Unidos en tiempo y operación ya que el tractocamión no puede internarse en ambos sentidos;
- La calidad de la infraestructura se ha rezagado y la inversión se destina principalmente a mantenimiento;
- Costos relativos de operación mayores por depreciación y licencias, peaje en autopistas concesionadas e inseguridad y robos.

Si se observa los costos logísticos como porcentaje respecto al Producto Interno Bruto (figura 1.5) se puede apreciar una diferencia de más del cuatro por ciento respecto a países como Estados Unidos, y poniéndolo en perspectiva, dicho porcentaje es equivalente al destinado a educación.

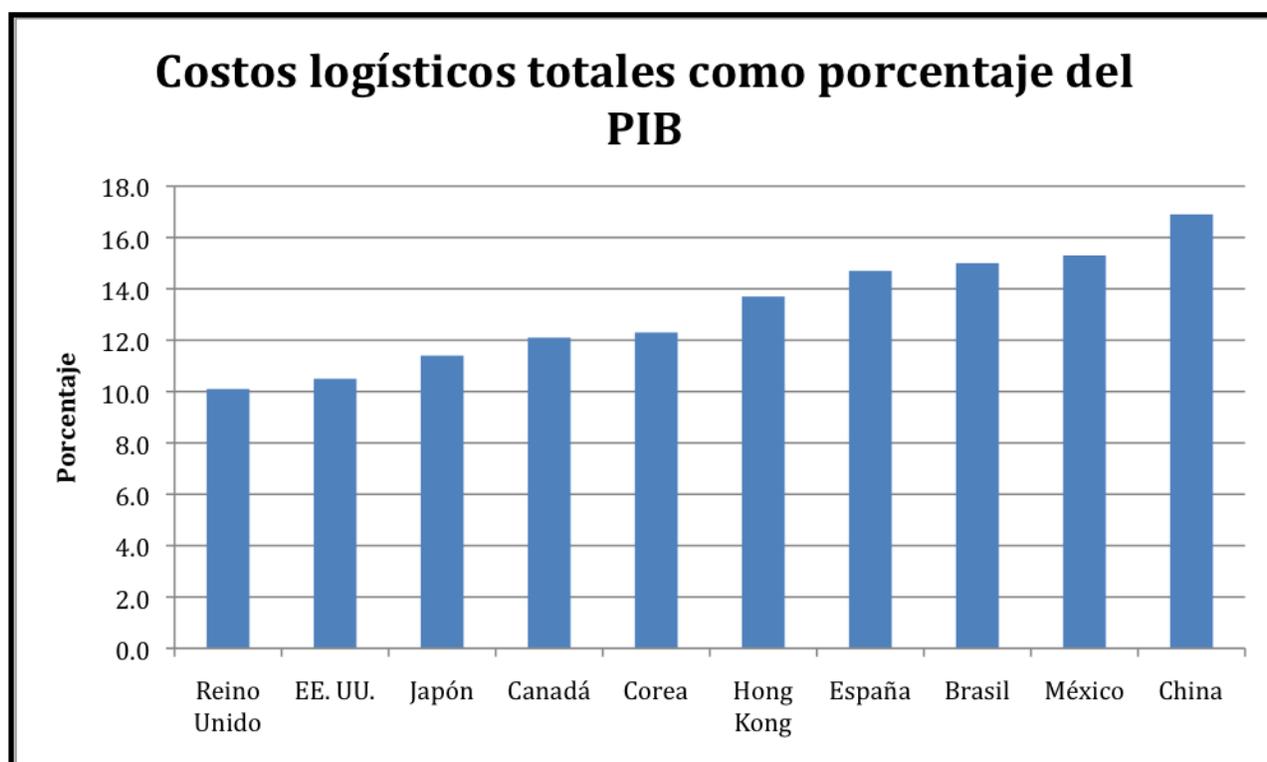


Figura 1.5. Costos logísticos totales como porcentaje del PIB. Fuente: Agenda de Competitividad en Logística, 2008.

1. 2. 2. Niveles de servicio de las empresas mexicanas

De acuerdo con un análisis enfocado a la distribución de mercancía realizado por el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (Agenda de Competitividad en Logística, 2008), menos del 90% de las órdenes son entregadas completas y a tiempo. Esta cifra fue confirmada por AT Kearney por medio de una encuesta (Figura 1.6) donde se obtuvo que sólo el 88% de las entregas son hechas a tiempo en tanto que el 89% son entregas completas. Estas cifras son particularmente bajas si las comparamos con Estados Unidos y Europa donde los promedios son 98 y 97 % respectivamente en puntualidad y del 97% en forma completa.

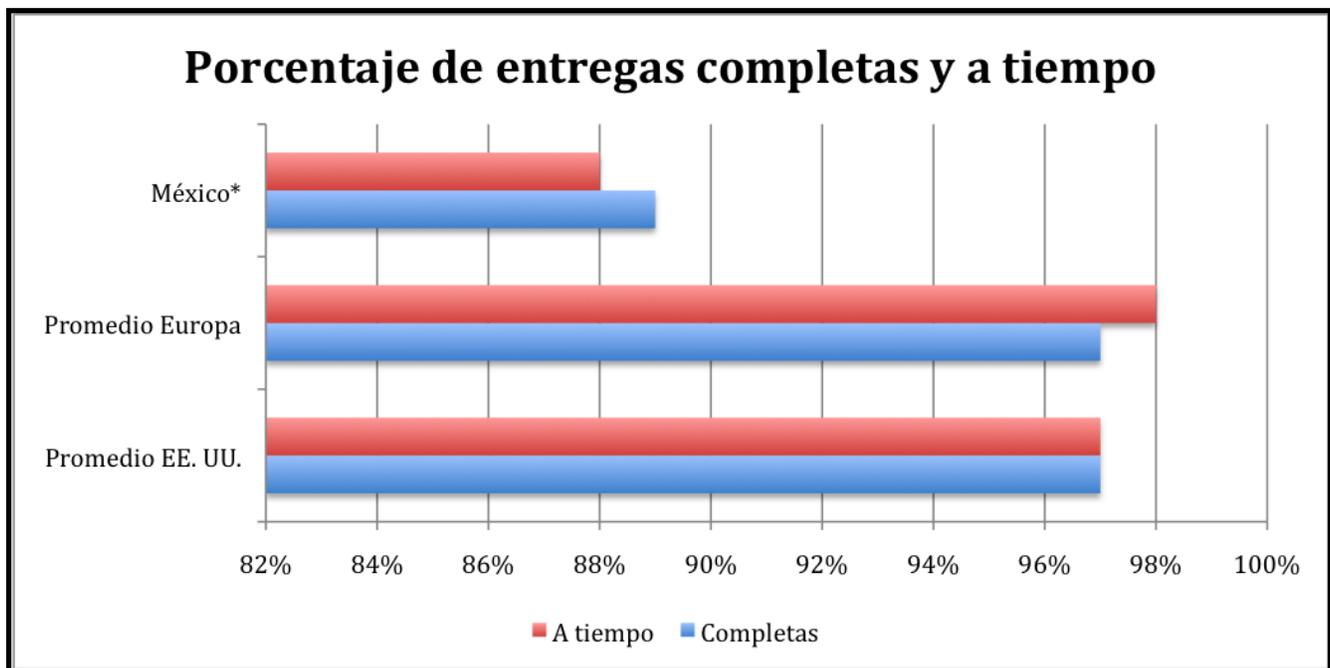


Figura 1.6. Porcentaje de entregas completa y a tiempo. Fuente: Agenda de Competitividad en Logística, 2008.

1. 2. 3. *Técnicas de planeación Logística*

Con base en una encuesta del Institute of Business Forecasting (Agenda de Competitividad en Logística, 2008), 7 de cada 10 empresas tienen graves errores en sus pronósticos de negocio afectando su productividad así como su cadena de suministros de manera importante. Igualmente existen problemas en el control de inventarios, en este campo 9 de cada 10 empresas emplea técnicas poco eficientes, siendo la técnica de *punto de reorden* la más utilizada. Esta técnica funciona bien para demandas constantes, es decir, los clientes siempre piden la misma cantidad de mercancía. Pero esta característica es menos frecuente en los mercados actuales, lo que genera excesos o faltantes.

Esta generación de excesos o faltantes repercute en los costos de las empresas ya que al haber un exceso es necesario absorber el almacenamiento así como la posibilidad de que los productos no sean usados. En el caso de un faltante esto puede repercutir en la producción si el insumo es necesario para la generación de productos o bien se puede traducir en un costo de oportunidad al no satisfacer a un cliente en el momento que es necesario.

En la segunda sección de este capítulo así como en el siguiente, se busca ilustrar como las TIC tienen el potencial para cambiar esto al facilitar el flujo de la información y que esta sea tanto confiable como de disponibilidad inmediata.

1. 2. 4. *Entrenamiento, capacitación y certificación del personal.*

Los encargados de solucionar los problemas logísticos de las empresas generalmente responden a la presión de sus socios para cumplir con las entregas en los tiempos establecidos, sin embargo estas decisiones tomadas al momento no siempre son las mejores, lo que repercute en la economía de las empresas. La capacitación del personal en empresas líderes en México es menor al promedio

estadounidense y al europeo. Lo mismo sucede con el presupuesto que destinan las empresas a capacitación del personal.

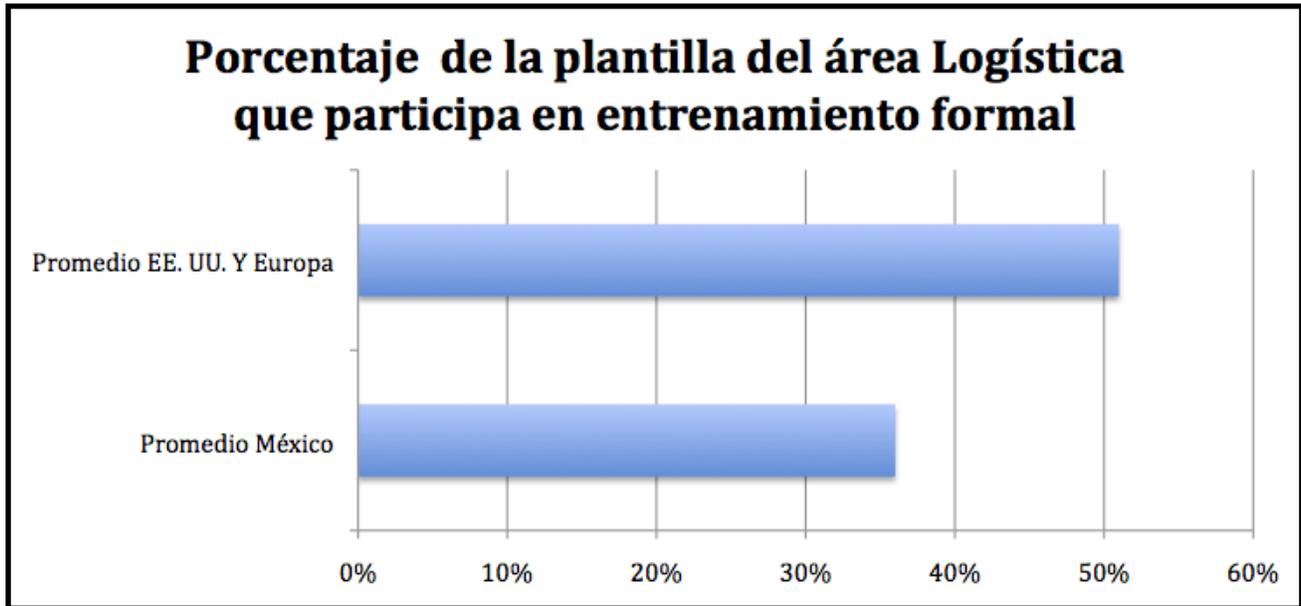


Figura 1.7. Porcentaje de la plantilla del área Logística que participa en entrenamiento formal.
Fuente: Agenda de Competitividad en Logística, 2008

En la figura 1.7 se puede apreciar el rezago capacitación el área de Logística, esto es particularmente grave ya que la estadística fue hecha tomando en cuenta a 27 empresas líderes en México, por lo que sería natural suponer que la capacitación en las medianas, pequeñas y micro empresas es menor.

Aquí también las TIC pueden marcar un cambio considerable ya que además de facilitar el flujo de comunicación en el caso de los profesionales bien preparados. También pueden ser usadas a manera de “caja negra”, de tal manera que provean a los empleados menos capacitados de soluciones que difícilmente podrían alcanzar por ellos mismos.

1. 2. 5. Tecnología

En el campo de la Tecnología, la Secretaría de Economía (Agenda de Competitividad en Logística, 2008) señala que la adopción de la Tecnología no resulta práctica debido a los siguientes factores:

- La mayoría de las empresas en México son micro, pequeñas o medianas y la mayoría no cuenta con los recursos para invertir en TIC;
- Algunas empresas ven las TIC como un gasto y no como una inversión;
- Existe poca difusión sobre el sus beneficios;
- Existe poca capacitación del personal para utilizarlas.

De acuerdo con un estudio de AT Kearney (Agenda de Competitividad en Logística, 2008), el promedio de ventas que involucra dispositivos EDI (Electronic Data Interchange) en México es del

35% en tanto que el promedio en Estados Unidos y Europa es del 60% (figura 1.8). Es evidente que el mercado mexicano se encuentra rezagado en el uso de esta tecnología.

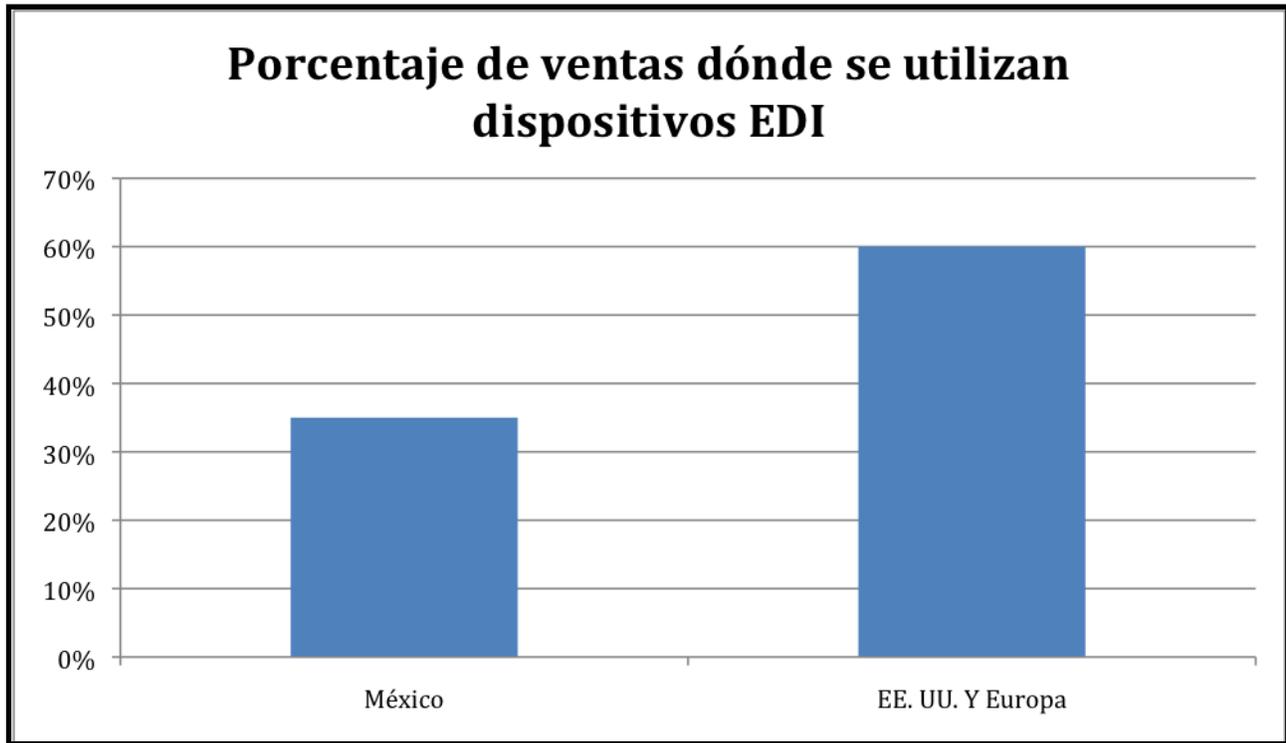


Figura 1.8. Porcentaje de ventas donde se utilizan dispositivos EDI. Fuente: Agenda de Competitividad en Logística, 2008.

1. 3. Situación de la Telefonía e Internet en México

Desde hace diez años, el crecimiento tanto en el mercado de telefonía celular como en el de Internet ha sido constante (Figuras 1.9 y 1.10). Cabe mencionar, que en lo referente a celulares, en promedio, más de la mitad de la población cuenta con este servicio, y si se toma en cuenta que prácticamente todos los celulares actuales tienen la capacidad de conectarse a la Internet, el número de usuarios potenciales crece considerablemente.

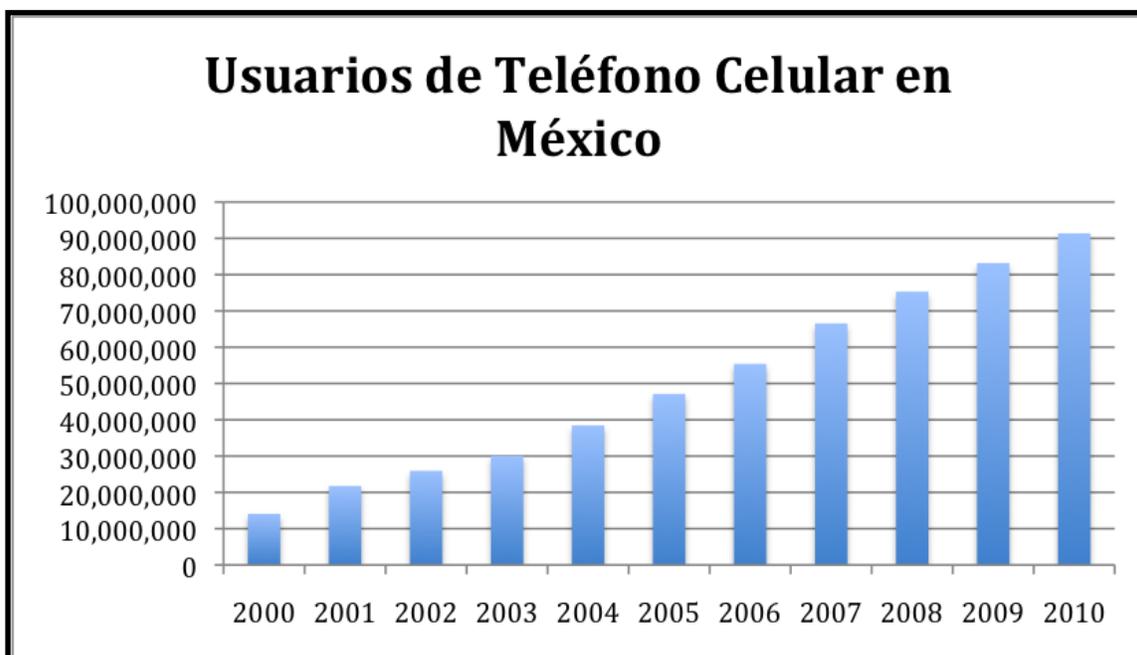


Figura 1. 9. Número de usuarios de celular. Fuente: En Linea COFETEL, 2010

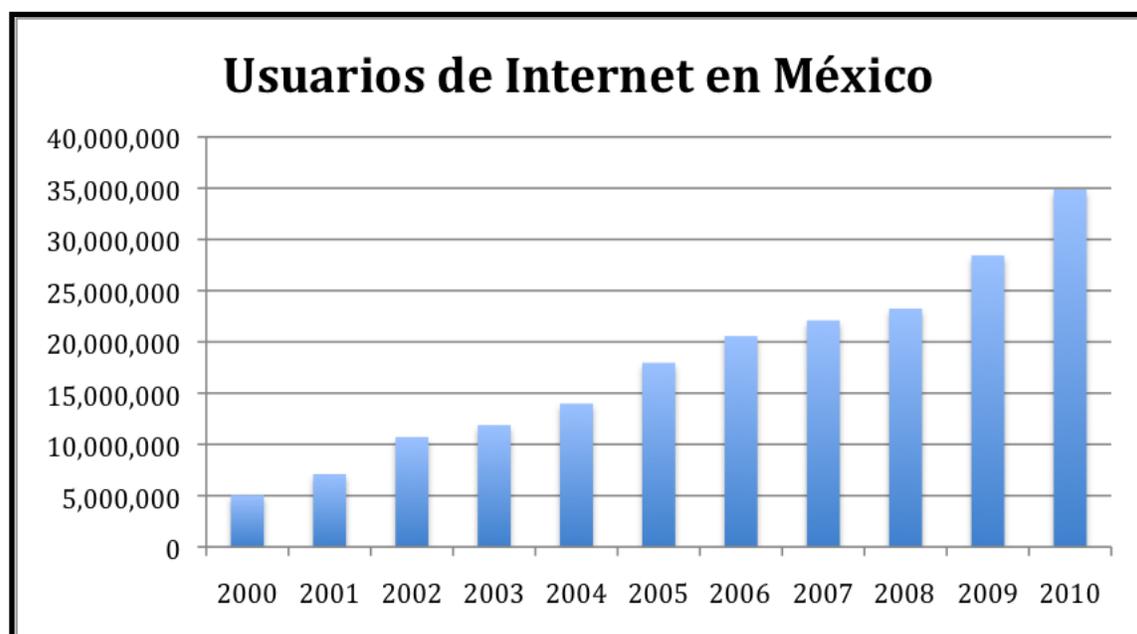


Figura 1. 10. Número de usuarios de Internet en México. Fuente: En línea COFETEL, 2010.

Lo anterior expuesto es importante si se considera además que con las capacidades de los teléfonos celulares actuales (aún los más modestos) se puede controlar el inventario de una pequeña o inclusive una mediana empresa, y que por su naturaleza de dispositivo de comunicación se puede enviar y recibir información. Se puede entonces considerar que un sistema de información que aproveche estas capacidades puede llevar las TIC a prácticamente cualquier empresa sin la necesidad de hacer un gran desembolso en infraestructura.

1. 4. Consideraciones finales

Considerando todos los puntos expuestos en este capítulo, es evidente que a pesar de que la situación Logística del país no es mala, hay mucho terreno por recorrer y que el llevar las estrategias de optimización Logística a las empresas repercutiría favorablemente en su desarrollo. Sin embargo la falta de capacitación y la inversión en infraestructura son un reto que debe ser solventado.

Las Tecnologías de la Comunicación y de la Información pueden precisamente resolver este problema si se aprovechan adecuadamente ya que, como se verá en los capítulos siguientes, pueden llevar los beneficios del conocimiento académico a personas que no necesariamente comprenden en profundidad temas de Logística.

Además, dada la situación actual de telefonía celular en México, no es realmente necesario un cambio radical en infraestructura, ya que en realidad, la infraestructura ya se encuentra presente, sólo es necesario aprovecharla.

En el siguiente capítulo se abordarán las formalmente la Tecnologías de la Información y la Comunicación, su definición, su uso y tendencias, así como la forma en la que se emplean en problemas de Logística y como han cambiado la forma de trabajar en ese sector.

2. Marco de Referencia

2. 1. Antecedentes de las Tecnologías de la Información y la Comunicación en la Investigación de Operaciones

Prácticamente desde sus inicios, las computadoras han estado ligadas a problemas propios de la Investigación de Operaciones ya que su poder para hacer grandes cálculos en tiempos reducidos es de gran ayuda en esta área. Así se dio paso a los llamados “*solvers*” (Elizondo, 2005), los cuales son programas o librerías que tienen la capacidad de resolver un problema de optimización, es decir, un problema cuyo objetivo es minimizar o maximizar un valor que es resultado de diversas variables y que está sujeto a ciertas restricciones. Hasta aquí lo que se tiene es Tecnologías de la Información, el paso siguiente consiste en integrar los beneficios de la Comunicación.

Cuando un recurso (*solver*) se agrega al Internet, las personas que hacen uso de dicho recurso son muy diversas y por lo tanto tienen distintos enfoques de cómo aprovechar la nueva información disponible, naturalmente la Investigación de Operaciones no es la excepción. Aquí se muestran tres casos:

Los modeladores, los cuales se encargan, como su nombre lo indica, de plantear problemas de optimización en términos que puedan ser ingresados a un sistema de cómputo

Los desarrolladores, quienes se encargan de crear los sistemas o librerías (*solvers*) para solucionar problemas de optimización. Son los encargados de traducir un algoritmo planteado en términos matemáticos a su equivalente en un lenguaje de programación. Cabe señalar que a los desarrolladores no sólo les concierne traducir a un lenguaje de programación, también tienen que lidiar con las limitantes propias de una computadora tales como la cantidad de memoria, el tiempo necesario para encontrar una solución (suponiendo que existe), la seguridad y desde luego el poder llevar el *solver* a la Internet.

Los usuarios, que son quienes se benefician al encontrar un recurso en la red que de solución a sus problemas. Cabe mencionar que en el caso de los usuarios, generalmente no están interesados en saber cómo se obtiene la solución óptima, lo importante para ellos es la solución en sí.

Esta clasificación contrasta con la visión que se tenía de las computadoras antes de la adopción de la Internet, en particular en el caso de los usuarios, ya que antes de la Internet, las personas que hacían uso de los *solvers* eran generalmente especialistas que se interesaban tanto por el proceso de modelado como de los algoritmos de solución. En tanto que con la generalización de la Internet, muchos de los usuarios sólo desean respuestas y muchas veces sin importar de dónde provengan.

Como se mencionó en el caso de los desarrolladores, el hacer que un *solver* se convierta en un recurso de Internet va más allá de simplemente subir el programa a una página Web. Los primeros esfuerzos dieron como resultado compilaciones de problemas relacionados con Investigación de Operaciones, dichas compilaciones las podemos encontrar en sitios tales como:

MINLPLIB¹. Colección de programas de problemas de programación no lineal
TSPLIB². Colección de ejemplos de problemas TSP (Travel Salesman Problem). De este

¹ <http://www.gamsworld.org/minlp/minlplib.htm>

sitio se obtuvieron algunos de los problemas de prueba del capítulo 3.
SDPLIB³. Colección de problemas semidefinidos.
OR-Library⁴. Conjuntos de datos para diversos problemas de I. de O.

Junto con estos sitios que proporcionan colecciones de problemas de I. de O. se han desarrollado otros en los cuales se provee el servicio de optimización mediante diversos *solvers*, algunos son:

NIMBUS⁵ Sistema de optimización no diferenciable interactivo y multi objetivo.
HIRON⁶ Sistema de algoritmos híbridos para optimización global.
UniCalc⁷ Sistema para resolver problemas algebraicos arbitrarios
NEOS⁸ Sistema para resolver problemas de optimización.

Otros desarrollos han ido enfocados hacia el modelado de los problemas, tales como AMPL⁹, el cual es un lenguaje de modelado algebraico, comprensible para problemas de optimización lineal y no lineal, tanto discretos como continuos.

A lo largo de estos desarrollos se han detectado una serie de dificultades que surgen al pasar a un modelo basado en Internet, entre ellos están:

Desarrollo de Interfaces vía páginas Web. En este caso, uno ingresa a una página y mediante una forma HTML (cajas de texto, listas, etc.) el usuario envía la información a una máquina servidor, el cual la procesa y se encarga de regresar una nueva página con la solución al problema. Para este problema existen algunas variantes las cuales consisten en usar tecnologías tales como los *Applets* o las aplicaciones *Flash*, las cuales simulan el comportamiento de una aplicación tradicional, es decir, una aplicación de ventana que corre de forma local, pero que en lugar de realizar los cálculos en la máquina cliente, envían la información al servidor y muestran el resultado en dentro del mismo *Applet* o *Flash* sin la necesidad de recargar la página en la que se encuentran. Sin importar si se trata de una forma HTML o de una aplicación integrada a la página, ambas tiene limitantes cuando el problema involucra una gran cantidad de variables y/o restricciones. Para estos casos, ambas interfaces ofrecen la posibilidad de enviar la información a través de archivos, sin embargo esta solución trae nuevas consideraciones tales como: el formato que deben tener los datos dentro del archivo; el tamaño máximo que se puede soportar ya sea por limitantes del *solver* o limitantes de la red; evitar la propagación de virus.

Arquitectura. Cuando se tiene un *solver* instalado en una máquina local, las principales preocupaciones son si la máquina cuenta con la suficiente memoria para correr el programa y si el procesador es lo suficientemente rápido para dar una respuesta en un tiempo razonable. Sin embargo, al convertirlo en un recurso de Internet, la cantidad de memoria y la velocidad del procesador no sólo dependen del problema que se quiere

² <http://comopt.ifi.uni-heidelberg.de/software/TSPLIB95/>

³ <http://euler.nmt.edu/~brian/sdplib/sdplib.html>

⁴ <http://people.brunel.ac.uk/~mastjbj/jeb/info.html>

⁵ <http://euler.math.jyu.fi/NIMBUS/index.html>

⁶ <http://www.hiron.ru/bin/VasBoNG.dll>

⁷ <http://www.rriai.org.ru/UniCalc/>

⁸ <http://www-neos.mcs.anl.gov/>

⁹ <http://www.ampl.com/>

resolver, sino de la cantidad de usuarios que desean usar el recurso al mismo tiempo, es decir, en un mismo momento varios usuarios pueden solicitar la solución de sus problemas, por lo que el sistema debe tener la capacidad para manejar varios problemas a la vez o bien encolarlos e informar a los usuarios del tiempo estimado en que se les dará respuesta. De igual forma, se deben considerar cuestiones como Sistema Operativo del Servidor, Infraestructura de la Red, lenguajes de desarrollo (por ejemplo, Java es mejor para el desarrollo en red, sin embargo para cálculos numéricos Fortran o C++ son mejores).

Costos. Naturalmente, cuando se agrega un recurso a la Internet, alguien debe pagar porque ese recurso se mantenga disponible, desde la energía eléctrica que alimenta a la máquina servidor hasta el mantenimiento o mejoras que se le hagan al programa. Dependiendo de la demanda y de la naturaleza del servicio, los costos los puede absorber una Institución educativa cuando se trata de difusión del conocimiento, o bien se le puede cobrar a los usuarios del sistema, pasando desde luego por la publicidad como sucede en el caso de los buscadores.

Administración de *solvers*. Dependiendo de la naturaleza del problema, existen algoritmos que funcionan mejor que otros, sin embargo, cuando los usuarios no son especialistas no tienen la capacidad de elegir entre los diversos métodos de solución. De tal forma, que el sistema debería ser capaz de analizar el problema para determinar cuál es el mejor *solver* para él o inclusive rechazar el problema en caso de que genere un conflicto en el servidor.

APIs para el desarrollo de aplicaciones cliente. Para cierto tipo de clientes si bien el tener disponible el servicio es una ganancia, muchos preferirían tener un programa hecho a la medida de sus necesidades, en particular si se enfrentan al mismo problema de forma constante variando únicamente los datos de entrada, pero que por la complejidad de sus problemas no pueden costear el desarrollo completo del software y/o del hardware, por lo que dependen del proveedor del servicio. Para ello, se plantea la creación de librerías o APIs (Application Programming Interface) las cuales permitan crear aplicaciones personalizadas que se muestren en las máquinas cliente como si se tratase de cualquier otra aplicación de escritorio, pero que “tras bambalinas” invocará al servidor para realizar los cálculos. Este punto se complementa con la tercera sección de este capítulo donde se explica la forma de hacer uso de la Internet sin necesidad de entrar a una página Web (Bodoff, 2002), y particularmente el capítulo tres de este documento busca ilustrar la relativa facilidad de hacer esto mediante un ejemplo concreto.

A pesar de los logros y los retos que impone la Internet como medio de comunicación, se puede apreciar una constante en los desarrollos obtenidos hasta el momento. Todos los sitios tanto de *solvers* en línea como colecciones de problemas, están pensados para usuarios que conocen del tema. Por lo que el nuevo reto de las TIC es llevar el conocimiento, y por lo tanto sus beneficios, a aquellos quienes no son letrados en el Investigación de Operaciones.

También, es importante notar que el problema de ligar la academia con la práctica no sólo es un problema monetario. En varias ocasiones el decisor no cuenta con los conocimientos que le permitan apreciar los beneficios de aplicar algún método de optimización a sus procesos, y lo considera más un gasto que una inversión.

2. 2. El uso actual de las Tecnologías de la Información y la Comunicación en la Logística

A lo largo de la cadena de suministros, la cual va desde el productor de materias primas hasta el cliente final, pasando por los fabricantes de componentes, fabricantes de empaques, el fabricante del producto terminado, los distribuidores y desde luego los transportistas. Es a lo largo de esta cadena, que surgen diversos procesos para poder pasar de un eslabón a otro. Las Tecnologías de Información y la Comunicación han contribuido a gestionar la información generada por dichos procesos mediante la creación de programas tanto generales como especializados (paquetería) así como mediante sistemas informáticos altamente complejos (Chorafas, 2002). Dentro de las actividades que los programas o sistemas pueden gestionar se encuentran las siguientes:

- Ofimática (cartas, oficios, hojas de calculo, presentaciones, etc.)
- Facturación
- Gestión de almacenes
- Contabilidad
- Control de ubicación y selección
- Control de inventario
- Gestión de entregas a clientes finales
- Gestión de pedidos de clientes
- Gestión de devoluciones, rechazos y garantías
- Interacción con entidades financieras
- Servicios a clientes (preventa y postventa)
- Gestión de Recursos Humanos.
- Gestión y control de la calidad
- Firma electrónica
- Gestión integral del negocio (ERP)
- Gestión de pedidos de proveedores
- Gestión de las flotas de distribución
- Gestión de clientes (CRM)
- Gestión de distribución y fuerza de ventas
- Facturación electrónica
- Pronostico

Si a estas tareas que son gestionadas mediante el software, les añadimos dispositivos electrónicos que den pie tanto a la entrada como a la salida de datos para los sistemas mencionados. Dispositivos como los Intercambio Electrónico de Datos (EDI), Impresoras y Lectores de Códigos de Barras, Dispositivos de Radio Frecuencia e Identificación Electrónica (RFID), Firma Digital, Sistemas de Bases de Datos, Robots, Sistemas de Información, Terminales Móviles (laptops, tabletas digitales, celulares, etc.) y desde luego una plataforma de comunicación entre los dispositivos y los sistemas. Será fácil apreciar la influencia que las TIC tienen en el mejoramiento de los procesos de las actividades logísticas. Cabe señalar que de manera similar en la que una materia prima es transformada en un producto destinado a un cliente. Los datos que se generan a lo largo del proceso se distribuyen en varios sistemas donde en ciertos datos son la salida de un sistema y la entrada de otro. A continuación se muestran algunos ejemplos extraídos de la “Guía sobre las TIC en el sector de la logística y Transporte en la PYME y la

MICROPYME” que muestran como las Tecnologías de la Información y la Comunicación hacen uso de esos datos dentro de las procesos logísticos.

2. 2. 1. Gestión de almacenes.

Los Sistemas de Gestión de Almacén incluyen dentro de sus funciones:

- Recepción de la mercancía.
- Ubicación de la mercancía.
- Selección
- Empaquetado.
- Entrega.
- Control de inventario

La introducción de nuevas tecnologías en la gestión de almacenes supone una nueva forma de trabajar, más rápida y efectiva, pero no implica un cambio en la cadena tradicional de procesos de almacén.

Recepción de la mercancía

Los códigos de barras permiten mejorar tanto el proceso de recepción como el de envío de mercancía dentro de los almacenes, mediante la implantación de sistemas de captura de datos automáticos o semiautomáticos. La información obtenida de estos sistemas se puede almacenar directamente la base de datos del sistema.

Ubicación de la mercancía

Saber que se tiene un producto es muy distinto a saber dónde se encuentra colocado. En muchas ocasiones, surgen graves problemas causados por productos almacenados en un lugar equivocado, así como olvidos de asignaciones de ubicación temporales. Los sistemas de identificación de ubicaciones cuentan con equipos capaces de identificar, mediante un código de barras o dispositivos de radio frecuencia, la ubicación y cantidad de almacenaje existentes. En el caso de los dispositivos RFID es posible realizar una comprobación en tiempo real de que el producto se encuentra en que lugar.

Para poder llevar a cabo este proceso, es necesario disponer de unos almacenes bien estructurados y clasificados, en donde cada uno de los posibles lugares donde almacenar un producto esté perfectamente identificado y localizado. Cuando se cuenta con este tipo de almacenes se puede agregar el uso de robots para colocar los productos lo cual agiliza el proceso.

Selección

En cuanto al proceso selección de materiales (picking), tradicionalmente se le proporciona a un empleado una lista con los productos a retirar del almacén. Si la lista no tiene un orden establecido, depende del empleado, de su destreza y experiencia que realice el proceso de forma eficiente. Por lo que la productividad es variable entre los diferentes trabajadores. Al sistematizar la selección, se obtiene una mejora en la velocidad y la eficiencia a la hora de gestionar la retirada de almacén de los productos. Esto se logra al proporcionar una lista donde las rutas de trabajo han sido optimizadas.

Además, se podrían realizar comprobaciones instantáneas con el fin de controlar si la mercancía recogida es la esperada.

Control de inventarios

El control de inventario consiste, en su definición más amplia, en conocer y verificar qué es lo que se tiene y qué es lo que se debería tener, dónde está y dónde debería estar, y por último, cuál es el momento más adecuado para reponer. Esto es fundamental para todas aquellas empresas que deseen mantener bien organizada la administración de sus productos (tanto insumos como artículos terminados).

Con estos controles, se tratan de evitar situaciones de exceso de materias, lo que se traduce en un aumento innecesario en los costos de almacenaje. O bien, la inexistencia en un momento de necesidad, lo que da como resultado retrasos en la línea de producción o bien costos de oportunidad al no poder satisfacer las necesidades de los clientes en el momento que ellos lo requieren, lo que puede afectar la confianza de ellos en la empresa y en el peor de los casos enviarlos con la competencia.

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación han aportado al Problema del Control de Inventarios el uso de etiquetas inteligentes (RFID). Éstas resuelven las necesidades de conocimiento de inventarios en tiempo real o al menos con un período de actualización elevado, y eliminan los problemas relacionados con las necesidades de disponibilidad de recursos humanos dedicados y la propensión a errores de los mismos.

Cabe señalar que en la era de la información, los datos que sirven tanto de entrada como de salida de los sistemas, no son solo útiles al problema para el que el sistema fue desarrollado, sino que pueden ser explotados por otras áreas para mejorar los procesos de la empresa. Otras funcionalidades de un sistema de gestión de almacenes son:

- Gestión de tareas de movimiento: proporciona una visión en tiempo real de la situación de las tareas que se están llevando a cabo en un almacén, quién está haciendo qué. Esto permite a los supervisores controlar en tiempo real el progreso en el trabajo.
- Gestión de recursos: calcula la cantidad de recursos (tanto personas como máquinas) necesaria para completar un proceso, además de poder asignar automáticamente cada recurso a una tarea determinada.
- Medida de la productividad: permite realizar métricas en los trabajadores, tanto a nivel individual como por grupos, turnos, fechas, etc.
- Sistema de alertas: informa en tiempo real mediante el envío de correos electrónicos o a través del móvil, que se ha disparado un evento el cual debe ser atendido.

2. 2. 2. Gestión de pedidos y distribución.

Dentro de la gestión de pedidos y distribución uno de los principales aportes de las Tecnologías de la Información y la Comunicación es el Comercio Electrónico. Esta tecnología permite la entrada de pedidos en línea, lo que da pie al tratamiento y respuesta a esos pedidos de forma electrónica, con eficacia y seguridad (Panos, 2004). Para ello, la empresa debe disponer ya sea de forma propietaria o a

través de un tercero, de sistemas informáticos potentes y estructuras organizativas capaces de soportar esta nueva manera de proceder. El comercio electrónico proporciona rapidez en el procesamiento y acceso a la información.

Muchas empresas ofrecen a sus clientes vía Internet no solo la capacidad de levantar un pedido y realizar el pago del mismo. Algunos sistemas permiten conocer en tiempo real el estado y ubicación de su pedido.

Para lograr esto, las Tecnologías de la Información y la Comunicación han aportado dos sistemas informáticos indispensables en los procesos Logísticos modernos, los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) y los Sistemas de Información Geográfica (GIS). Los primeros permiten conocer con un alto grado de precisión la posición geográfica de un dispositivo haciendo uso de una red de satélites construidos explícitamente para ese propósito por el ejército de los Estados Unidos (actualmente tanto la Union Europea como China tiene en desarrollo sus propios sistemas, Galileo y Beidou respectivamente).

En el caso de los segundos, los sistemas GIS permiten acceder a una gran cantidad de información geográfica, entre las que destacan las rutas entre diferentes sitios, las condiciones climáticas de la zona, las condiciones de tráfico en la ruta así como información del mantenimiento de las mismas. Así como información acerca de los elementos que se pueden encontrar dentro de la ruta (estaciones de servicio, terminales, centros de almacenaje, etc.)

Al combinar la información generada por este tipo de sistemas e integrarlos con sistemas para gestionar flotas de transporte, los decisores pueden acceder en tiempo real datos como:

- Localización de unidades
- Estado de las unidades (cantidad de productos que contienen, así como su estado en caso de tratarse de perecederos)
- Costos asociados a las unidades (consumo de combustible, refacciones esperadas por el desgaste)
- Disponibilidad de la unidades
- Fechas de mantenimiento y costos asociados.
- Organización de rutas
- Re programación de rutas basadas en las condiciones de tránsito y clima
- Control de horarios
- Control de mercancías peligrosas.
- Detección de emergencias

Información de embarque

Tradicionalmente, en un embarque un conductor se acompaña de la documentación correspondiente, que permanece con él hasta su llegada al centro de distribución, donde, tras la entrega de la documentación por parte del conductor al equipo encargado de la recepción, se empieza el proceso de entrada de datos en el sistema y con la descarga. Esto es sensible al error humano, además de ser un proceso lento, lo que provoca retrasos a la hora de realizar los embarques. Además es común que se acumule información escrita conforme se van completando las entregas, y permanezca sin tratar hasta

su regreso al centro de distribución. Lo que genera cuellos de botella para el resto de los procesos de la empresa.

Los sistemas informáticos permiten que varias de las tareas realizadas en el embarque y desembarque sean realizados de forma separada. De este modo se agiliza el proceso de carga y descarga además la información está disponible de forma casi inmediata, lo que le permite al encargado del centro de distribución determinar con anterioridad las necesidades de recursos necesarios para gestionar la recepción

La principal característica que debe cumplir un buen sistema de distribución es la inmediatez de la información, que permite llevar a cabo una rápida respuesta en el tratamiento de los productos, y facilita procesos como el Cross-Docking, el seguimiento de los embarques y la asignación dinámica de tareas a los conductores.

El Cross-Docking es un sistema de distribución en el que la mercancía recibida en el depósito o centro de distribución no es almacenada, sino preparada inmediatamente para su próximo envío. Consiste en la transferencia de las entregas desde el punto de recepción directamente hasta el punto de entrega, con un período de almacenaje limitado e incluso, en algunos casos, inexistente.

2. 2. 3. Gestión de aprovisionamiento y Pronósticos.

Una vez atendidos los problemas de control de almacén y distribución, los encargados de la planeación deben disminuir los costes de las compras, mejorar la calidad de los productos y reducir el almacenaje y los plazos de entrega. Haciendo uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación se pueden automatizar tareas tales como:

- Facturación a partir de los consumos realizados.
- Realizar pedidos a los proveedores.
- Unir las necesidades de carga con las disponibilidades de los transportistas.
- Homogeneizar la información.

Con la utilización de herramientas informáticas permite la transferencia de información entre las diferentes partes de la cadena de suministro, en tiempo real, manteniendo así la sincronización de los diferentes eslabones de la cadena. Al contar con datos confiables, los encargados de la planeación pueden realizar pronósticos más acertados aumentando la confiabilidad los mismos.

2. 3. Tecnologías de la Información y la Comunicación

2. 3. 1. Definición

Las Tecnologías de la información y Comunicación (TIC) comprenden “el estudio, desarrollo, implementación, soporte o mantenimiento de sistemas de información basados en cómputo,

particularmente en aplicaciones de software y hardware para computadoras¹⁰. En la actualidad dichas tecnologías se han vuelto parte fundamental de nuestra vida.

De manera similar a un problema de Logística, en el que un elemento debe estar en el lugar y momento correcto, uno de esos elementos, indispensable para cualquier Institución, es la información. Todo sistema de información debe establecer la forma en la que la información se recopila, se almacena, se protege, se envía de un lugar a otro, de una persona a otra, el tiempo en que tarda en llegar, lo que se hace con dicha información, así como con el hecho de que su contenido sea seguro y confiable.

Sin lugar a dudas, la computadoras han cambiado la forma en la que trabaja la cadena de suministros (Fredendall, 2001), no sólo en velocidad y capacidad para manejar grandes volúmenes de datos, sino agregando nuevos medios de comunicación como el correo electrónico, los mensajeros instantáneos y las redes sociales.

Cabe aclarar que las computadoras van más allá de los aparatos de escritorio, las laptops o los servidores que usan las grandes empresas. Los celulares, las agendas electrónicas, los chips en las tarjetas de crédito, los electrodomésticos más recientes, las tarjetas para pagar el transporte, los lectores de código de barras, los menús telefónicos, los sistemas de navegación GPS (Global Position System), las máquinas de cobro de estacionamiento, las cámaras con detección de movimiento y lectores de huellas digitales, son, entre muchos otros, computadoras, las cuales se encargan de manejar diversos tipos de información.

En la actualidad, existen varios desarrollos en el área de Logística, uno de los más importantes es el de dispositivos de identificación por radio frecuencia (RFID, Radio-frequency identification). Con el abaratamiento de los chips de computadora, se ha logrado que dichos dispositivos se puedan integrar en prácticamente cualquier producto, del mismo modo que se hace con los códigos de barras, con la ventaja de que no es necesario hacer la lectura de manera directa y cercana, ahora se puede hacer sin necesidad de cables a través de toda una habitación de manera tal, que ahora es posible conocer el inventario exacto en cualquier momento, y si a esto se suma un dispositivo GPS, se puede conocer de manera certera la posición de un producto a cualquier hora.

2. 3. 2. Sistemas orientados a servicios

Junto con de la inversión en infraestructura, existe también el inconveniente de contar con información confiable. Cuando se crea un modelo para representar un proceso, los valores de los parámetros que forman parte del modelo pueden cambiar de forma continua. Por ejemplo, en el caso de una tienda, la cantidad de refrescos que vende cambia constantemente, por lo que su nivel de inventario puede ser muy distinto de una hora a otra y por lo tanto, la cantidad necesaria para satisfacer un pedido también será variable. Aquí cabe mencionar, que en muchos negocios pequeños, sus dueños han aprendido a administrarlos con base en ensayo y error, por lo que hacer pedidos diferentes a lo que realmente necesitan puede traerles problemas de almacenamiento y solvencia al momento de liquidar sus adeudos. A estos problemas se suma el costo de oportunidad al no contar con el producto en el momento solicitado ya sea por error al hacer el pedido, o como en varios negocios pequeños, al tener que desatender el negocio por tener que salir a proveerse de mercancía.

¹⁰ Definido por la Information Technology Association of America - <http://www.ita.org/es/docs/Information%20Technology%20Definitions.pdf>

En el caso de las organizaciones de tamaño medio o grande, el problema puede tornarse aún más complejo debido a la necesidad de compartir información entre los diferentes integrantes de la empresa. Si no se cuenta con un sistema eficiente de información, existe el riesgo de tomar decisiones con base en datos erróneos.

Es aquí donde las tecnologías de la información tienen un gran potencial, ya que permiten llevar dichos conocimientos hacia la persona que los necesita de una forma transparente, en donde no se requiere un especialista para usarlos. Pero, ¿Cómo se logra esto? Consideremos el siguiente ejemplo: Comprar un libro a través de Internet (figura 2.1). Para poder hacer esto, es necesaria la integración de al menos cuatro sistemas distintos. En primera instancia se tiene a la librería, la cual tiene que encargarse de controlar sus inventarios, manejar clasificaciones, proveer de reseñas e información de sus libros, etcétera. En segundo lugar, si se realiza un pago electrónico, existe entonces un banco, el cual se tiene que hacer cargo de validar el número de tarjeta de crédito, verificar que el saldo sea suficiente, que la tarjeta no haya sido reportada, y desde luego transferir el monto del pago de la cuenta del cliente a la de la librería. En tercera instancia, se necesita de una mensajería, la cual tiene que lidiar con rutas, tiempos de entrega, aduanas, medios de transporte, entre otros. Por último, se necesita de una entidad que provea el servicio de Internet para poder efectuar este tipo de compra.

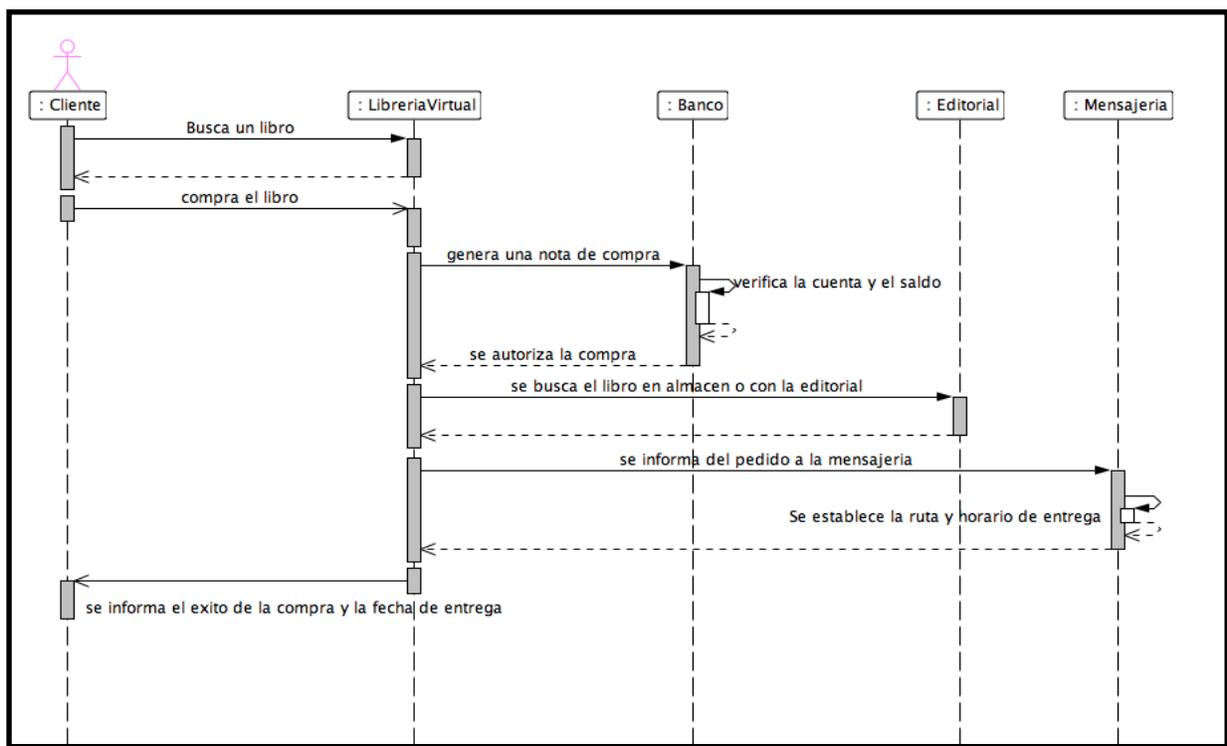


Figura 2.1 Diagrama de secuencia para la compra de un libro en una tienda en línea, se involucra más de un sistema, sin embargo el usuario ve al sitio como una sola entidad. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar con el ejemplo, estas cuatro entidades (que pueden ser más) son por sí mismas sistemas independientes, cada uno con sus propios problemas y procedimientos, que fueron creados en distintos momentos, y que consecuentemente usan tecnologías que no necesariamente son las mismas y por consiguiente, no necesariamente compatibles. Sin embargo, la persona que compra el libro, no tiene que preocuparse por cómo resuelve cada entidad sus problemas, ni de cómo logran comunicarse

entre sí, para dicha persona, cuando ingresa a la página Web de la librería, todas las entidades las ve como si se tratase de una sola, un solo sistema.

Esto inclusive va más allá, la misma persona que compra el libro es un conjunto de variables en sí misma. Usa Visa o MasterCard, Windows o Mac, se conecta desde la computadora de su casa o mediante su celular. En un buen sistema de información, todas estas variables y las demás que pudiese implicar el usuario, deberían ser transparentes para él, no deberían preocuparle, además de que el servicio debería ser seguro y confiable.

Con este ejemplo, se puede apreciar claramente cómo la información apropiada va de un lugar a otro de tal manera que no es necesario tener un conocimiento profundo del sistema para hacer uso de él. Es importante notar que una computadora por sí sola, por muy poderosa que sea, sigue estando limitada y es la red de comunicación lo que hace que un dispositivo pequeño como un celular, tenga a su alcance todo tipo de recursos. El reto para hacer más eficiente la relación que tienen estos servicios, consiste en llevar la información que cada uno de ellos requiere de manera instantánea, segura y confiable.

Para poder lograr esto, es necesario conocer perfectamente las entidades que están relacionadas, así como la información que cada una requiere para poder efectuar su trabajo. Una vez identificadas las entidades y sus requerimientos, el siguiente paso es comunicar sus sistemas para que trabajen en conjunto, como si todos fuesen parte del mismo.

A lo largo de casi cuarenta años se han creado muchos elementos los cuales conforman la Internet, tales como protocolos de comunicación, estandarización de máquinas, tipos de cables, direcciones electrónicas, así como la creación de formatos para archivos, servicios y restricciones para el uso de ondas de radio, entre varios elementos más que conforman la red de redes. Su uso se ha vuelto increíblemente sencillo, basta con encender una computadora (que cuente naturalmente con servicio de red), abrir un programa para navegar, escribir una dirección electrónica y ver la página resultante en el navegador.

Como se puede ver, no es necesario saber lo que significa http, www, TCP/IP, html, etc. ni es necesario entenderlos, salvo por el uso de algunos términos como navegar, dirección, liga, *e-mail*, entre otros; los cuales se han vuelto ya parte de nuestro vocabulario cotidiano. Ahora, para entender como se puede usar esta tecnología para desarrollar un sistema que permita difundir conocimientos de optimización Logística, es suficiente comprender unos cuantos pasos más, los cuales son los mismos que sigue un navegador de Internet.

2. 4. Tecnologías necesarias para implementar las soluciones referidas

Naturalmente el grado de aceptación de los productos y servicios relacionados con las Tecnologías de la Información y la Comunicación depende de su funcionalidad. Sin embargo, a pesar de su aceptación y de los beneficios que se ganan al adoptarlas, es necesario cumplir con una serie de requisitos técnicos para su puesta en práctica (Guía sobre las TIC en el sector de la logística, 2010).

En este apartado, se describen someramente las tecnologías y equipos usados para implementar las soluciones propuestas.

2. 4. 1. Redes de comunicación

Las redes de comunicación permiten conectar los terminales de usuario con los servidores en donde residen los contenidos, los servicios y las aplicaciones. Las redes de comunicaciones pueden ser tanto fijas como móviles, siendo estas últimas las más comunes en el sector logístico.

- **ADSL** Es una tecnología de acceso a Internet de banda ancha, lo que implica una velocidad superior a una conexión tradicional por módem en la transferencia de datos, ya que el módem utiliza la banda de voz y por tanto impide el servicio de voz mientras se use y viceversa. Esto se consigue mediante una modulación de las señales de datos en una banda de frecuencias más alta que la utilizada en las conversaciones telefónicas convencionales (300-3400 Hz), función que realiza el ruteador ADSL.
- **PLC (Power Line Communications)**: esta tecnología permite la transmisión de datos a través de la infraestructura de la red eléctrica. Se trata de instalar en las estaciones de transformación los equipos de comunicaciones necesarios para acoplar sistemas de ondas portadoras. Aunque no son muy usadas en México, son bastante prácticas cuando solo se cuenta con la instalación eléctrica y las condiciones estructurales de los inmuebles afectan la señal de las redes inalámbricas.
- **Acceso vía satélite**: Estas redes ofrecen acceso bidireccional a través de enlaces con satélites. Su principal ventaja es su cobertura global, y aún no tienen rival para cubrir extensas zonas aisladas, como desiertos, océanos o zonas rurales de difícil acceso, ya que la infraestructura terrestre requerida para su implantación es mínima. Apenas existen zonas de sombra y en algunos casos llegan incluso a permitir movilidad. Su principal debilidad es que pueden ser afectadas por el clima, además de que se tienen que hacer adecuaciones si se trabaja de manera subterránea.
- **GPRS (Global Packet Radio Services)**: se trata del paso intermedio de la evolución del GSM hacia el UMTS, también conocida como generación 2,5G. Los terminales GPRS permiten visualizar contenidos y usar servicios de Internet directamente en su pantalla, en una evolución continua de convergencia entre el teléfono móvil y las PDAs. El uso de GPRS no sólo se limita a los teléfonos móviles sino que, a través de tarjetas GPRS, se puede conectar cualquier terminal de forma inalámbrica y a elevada velocidad.
- **UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)**: representa la tercera generación de la telefonía móvil. Supone la mayor implantación de tecnologías radio, mayores capacidades de transmisión y nuevos terminales. Estos factores tecnológicos, junto con los problemas económicos surgidos del endeudamiento de las operadoras ante los elevados desembolsos a los que han tenido que hacer frente para adquirir las licencias, han provocado un enorme retraso en el desarrollo de la tecnología, favoreciendo la adopción y el uso de GPRS como tecnología intermedia.
- **WiFi (Wireless Fidelity)**: es el nombre comercial del estándar IEEE 802.11b para redes de área local inalámbricas (WLAN, Wireless Local Area Network). Una red WiFi consta de un punto de acceso (hotspot) que coordina todos los dispositivos WiFi conectados. Es el instrumento ideal para crear Redes de Área Local en zonas en las que no es posible instalar cables o se necesita disponer de movilidad total dentro del entorno de trabajo. La desventaja de este tipo de solución es que, al menos por el momento, la seguridad está por debajo de la proporcionada por otras soluciones. Otra desventaja es que la cantidad de información que se puede transmitir a través de este

tipo de redes es menor que las redes cableadas, sin embargo la mayoría de dispositivos móviles cuenta con soporte para este tipo de red.

En la actualidad, dada la penetración de los dispositivos móviles, las compañías de telefonía celular están incorporando a sus servicios la tecnología 4G, la cual tiene como característica poder transmitir grandes volúmenes de datos en poco tiempo comparable a la tecnología de banda ancha ADSL pero de forma inalámbrica.

2. 4. 2. Intercambio de Electrónico de Datos

El Intercambio Electrónico de Datos o EDI se utiliza para designar el sistema de intercambio de documentos en formato normalizado entre los sistemas informáticos de quienes participan en una relación comercial. Actualmente, EDI es una herramienta imprescindible para las relaciones comerciales entre muchas empresas ya que disminuye los errores, el coste administrativo de tratamiento de información, aumenta el flujo de ésta y la velocidad con la que se distribuye. Además, mediante el Intercambio Electrónico de Datos se minimiza o se elimina la asignación de recursos destinados a tareas que no aportan valor a la empresa.

Inicialmente (en los años 60), el Intercambio Electrónico de Datos se hacía mediante archivos propietarios. Naturalmente, si se usan archivos propietarios no se puede garantizar la interoperabilidad diferentes sistemas. Otro inconveniente es que costes crecen al aumentar el número de empresas debido a la necesidad de realizar traducciones entre los diferentes formatos.

Naturalmente, conforme ha evolucionado la tecnología, se han establecido formatos estándar para su uso en la red de comunicaciones, tales como:

- Estándar EDI-EANCOM.
- Estándar EAN-UCC para EDI-XML.

El estándar EDI-EANCOM

La Organización Internacional de Estándares propuso en 1986 la aprobación del estándar internacional UN/EDIFACT (Intercambio Electrónico de Documentos para la Administración, Comercio y Transporte). Dentro de este estándar surgió el proyecto EANCOM, cuyo objetivo era proveer apoyo al desarrollo de las normas EDIFACT y definir subconjuntos de dichos estándares EAN.

Un subconjunto son las Redes de Valor Añadido (EDI RVA). Estas redes proveen servicios adicionales a los de comunicaciones para usuarios externos. La función de una red de valor añadido consisten en recibir los mensajes para depositarlos en el buzón del destinatario, donde quedan a la espera de la entrega. La red asegura la integridad, el control y la trazabilidad de los mensajes, lo que posibilita en todo momento conocer el estado de los mensajes: enviados, recibidos, rechazados y pendientes de entrega.

EDI-EANCOM a través de Internet (EDI INT). Por su naturaleza, la Internet permite ampliar las posibilidades que aporta el EDI. Por ejemplo, el uso correo electrónico conlleva un importante ahorro en costes frente a los métodos tradicionales, basados en facturación por volumen de información. Sin embargo la gran desventaja de Internet es su inseguridad, resultado también de su naturaleza al ser un

sistema abierto. Para mitigar este problema, es necesario complementar el intercambio de información haciendo uso de firmas electrónicas y cifrado de datos.

El estándar EAN.UCC para EDI/XML

El XML es un lenguaje nacido en 1998, basado en etiquetas que permiten la realización de transacciones comerciales entre interlocutores. El conjunto de etiquetas define los contenidos para poder hacer la transacción documental entre las diferentes partes. La ventaja del XML sobre EDI-EANCOM es su posibilidad de extensión a entornos "persona-aplicación" para visualizar los documentos, puesto que los archivos pueden ser leídos directamente en XML o como HTML desde un navegador Web.

Naturalmente se requiere de un software especializado para el envío de los documentos. Además, también es necesaria una herramienta encargada de la conversión al EDI y de la integración con los sistemas de información de la empresa. Sin embargo el uso de XML permite a los desarrolladores contar con un estándar que resulta común para prácticamente todos los desarrollos actuales.

2. 4. 3. Sistemas de identificación por códigos de barras

El sistema de identificación más aceptado en el mundo es el desarrollado por EAN Internacional. Éste garantiza la identificación única y exclusiva de productos y servicios mediante códigos identificadores. Los códigos proporcionan un lenguaje común que permite a proveedores, fabricantes y vendedores comunicar información sobre el producto. Además, los códigos de barras se pueden imprimir sobre prácticamente cualquier superficie, e incluso, en algunos casos, se graban sobre el producto durante el proceso de fabricación.

Existen tres estándares principales para la numeración de unidades logísticas:

- EAN/UCC-13: es una numeración que se utiliza para la identificación de unidades comerciales de consumo masivo. Es una estructura única y segura que resulta ser fácilmente decodificable en los puntos de venta. Se utiliza exclusivamente para aquellos casos en los que la unidad logística se lee a través de los puntos de venta.
- EAN/UCC-14: se usa para identificar a efectos logísticos aquellas unidades logísticas que incorporan productos idénticos y no pasan por el punto de venta. La estructura es la misma que la de EAN/UCC-13, pero con una variable adicional elegida por la empresa que indica la forma de presentación de la mercancía.
- EAN/UCC-128: esta numeración se emplea cuando se necesita disponer de gran cantidad de información sobre un producto. Se pueden incluir datos como fechas de elaboración, caducidad, números de lote, etc.

Ejemplo de un código EAN/UCC - 13

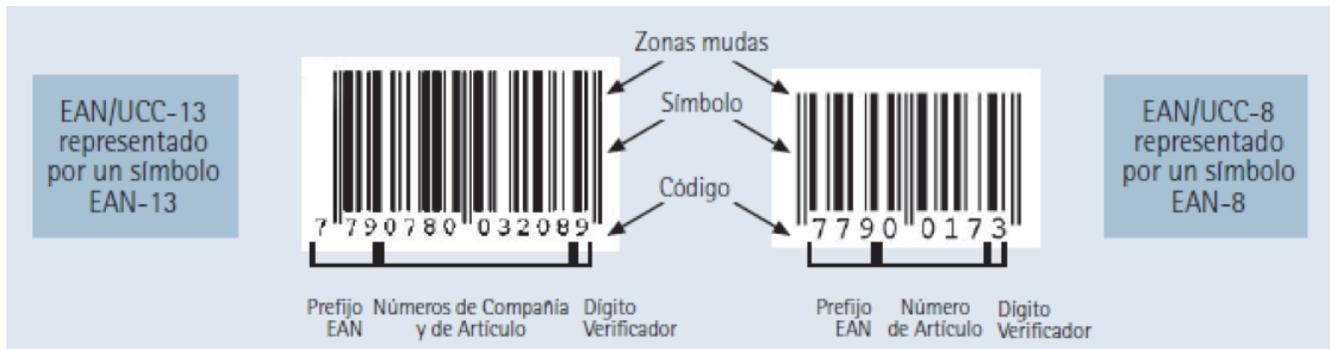


Figura 2. 11. Ejemplo de código de barras.

Las principales ventajas de las soluciones basadas en códigos de barras son la vida ilimitada del código, su bajo coste y la amplia difusión de este tipo de sistemas en el ámbito mundial. Por otra parte, los inconvenientes están relacionados con la baja funcionalidad del sistema, ligada a su poca capacidad para guardar información y al hecho de que sólo permite lectura de datos, además mediante visión directa.

A la tecnología de códigos de barras se han agregado los llamados códigos QR (figura 2.12), los cuales en lugar de barras paralelas utilizan una matriz de puntos. Este tipo de códigos tienen como ventaja el permitir almacenar más información (direcciones Web por ejemplo). Actualmente estos códigos se han vuelto muy populares entre los usuarios de teléfonos celulares que cuenten con cámara fotográfica.



Figura 2.12 Ejemplo de código QR

2. 4. 4. Sistemas de identificación por radiofrecuencia (RFID) o etiquetas inteligentes

El constante crecimiento de la industria ha hecho que los códigos sean insuficientes, por lo que fue necesario crear nuevas herramientas que superaran las limitaciones de los sistemas de códigos de barras. Dando a las empresas una mayor visibilidad de los productos conforme avanzan a lo largo de la cadena de suministro. Esta herramienta se basa en el uso de los sistemas de Identificación por Radio Frecuencia (RFID) y son conocidas como etiquetas inteligentes.

Las etiquetas inteligentes pueden adherirse o imprimirse en cualquier objeto. Estas etiquetas llevan un chip que permite la transmisión de información, y se activan cuando están próximas a un lector que emite señales creando un canal de comunicación.

Igual que los códigos de barras, las etiquetas inteligentes la trazabilidad de lotes de un producto (desde que se termina hasta su entrega al cliente final), el control de flujos de stock, la trazabilidad de productos perecederos y el control de sus condiciones, la administración de puntos de venta, el control de accesos en puntos de seguridad. Con la ventaja de que no están limitados por un lector que deba de ser colocado frente al código. Además de que se pueden realizar inventarios en tiempo real, y se tiene la posibilidad de identificar de forma única cada producto (número de serie).

La tecnología RFID cuenta con un estándar propio que permite su uso de forma global y generalizada. Este estándar recibe el nombre de Código Electrónico de Producto (EPC) y ha sido desarrollado por el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT).

Las principales ventajas que se obtienen de la aplicación de la tecnología RFID son las siguientes:

- Reducción de los tiempos de entrega y recepción de los productos.
- Optimización de la capacidad de carga de las instalaciones.
- Incremento de los niveles de calidad.
- Eliminación de los tiempos de inspección.
- Aumento de la precisión en la preparación de pedidos.
- Trazabilidad de las entregas.
- Reducción o eliminación de los niveles de pérdidas.
- Reducción de los inventarios de seguridad.
- Aumento de la seguridad de los productos en los puntos de venta.
- Posibilidad de obtener mayor información sobre los consumidores.
- Automatización de la captura de datos en almacenes.
- Además, no es necesaria la línea de visión directa para captura de datos, y las etiquetas pueden ser leídas a través de diferentes superficies.

Actualmente, la principal limitación para el uso de esta tecnología es su costo, ya que a pesar de la reducción en los precios de los micro procesadores, estos todavía siguen siendo elevados en comparación con los códigos de barras.

2. 5. Casos de Éxito

A continuación se ilustran varios casos en lo que las Tecnologías de la Información y la Comunicación han mejorado los procesos logísticos de diversas empresas (fuente: Libro blanco de las TIC en el Sector Transporte y Logística).

Caso: Glaxo Smith Kline (GSK)

Tecnología: Vehículos Guiados Automáticamente (AGV)

Glaxo Smith Kline (GSK) es una compañía farmacéutica referencia mundial en Investigación y en el cuidado de la salud. GSK cotiza en las bolsas de Londres y Nueva York, y se pueden encontrar sus productos en más de 140 países de todo el mundo. GSK implantó un sistema de Vehículos Guiados Automáticamente (AGV) para mejorar la eficiencia del transporte de pallets (tarimas para montacargas) entre el área de fabricación de comprimidos, el almacén automatizado y el área de expediciones. La implantación de este sistema se debió a los múltiples cuellos de botella que se formaban al recibir las tarimas.

GSK construyó una nueva planta dentro del almacén en la cual, mediante un sistema de elevación y dos vehículos guiados por láser, se consiguió descongestionar al final de línea. Los vehículos están en continuo movimiento los 365 días del año, 24 horas al día, para dar entrada a más del 80% de la producción del área de comprimidos, liberando a los operarios de la tarea repetitiva de recoger y dejar continuamente tarimas entre el área de producción y almacén, y ser empleados en otras tareas. Con menos de tres años de antigüedad, la inversión ya ha sido amortizada y se estudia una posible ampliación de la misma con la incorporación de un nuevo vehículo.

Caso: Torraspapel

Tecnología: Vehículos Guiados Automáticamente

Torraspapel es una multinacional dedicada al sector papelerero. Cuenta con producción propia de celulosa y dos fábricas dedicadas a soportes, entre las que suman una capacidad de fabricación superior a un millón de toneladas. La empresa enfrenta el problema de transportar rollos de papel a las zonas de producción. Estos rollos no sólo son de gran volumen, sino también de gran peso (aproximadamente 2 toneladas), lo que complica su manejo y almacenaje.

Similar al ejemplo anterior la empresa optó por un sistema de Vehículos Guiados Automáticamente (AGV) que consta de un único vehículo equipado con un sistema de guiado dual tanto por láser como de forma magnética. La tecnología de guiado láser se utiliza para el guiado dentro de la planta y permite el cálculo de la posición por medio de un láser colocado en el vehículo y unos reflectores colocados en puntos fijos de la instalación. Para obtener la posición exacta del vehículo. En tanto que la tecnología de guiado magnético se reservó para el trayecto comprendido entre las plantas de almacenaje y producción, que se realiza en el exterior.

Actualmente los rollos llegan a la zona de producción en el tiempo establecido, evitando que la planta se detenga por falta de materia prima. Además el sistema ha contribuido a una mejora en el ambiente de trabajo resultado de la reducción del riesgo para los trabajadores.

Caso: Perfumes y Diseño

Tecnología: Sistemas Gestión de Almacén

Perfumes y Diseño es una compañía española dedicada a la gestión de marcas propias de perfumería y cosmética. Sus productos se gestionan de una manera global, abarcando desde su diseño y desarrollo industrial hasta su producción y distribución, para lo que se sirve de sus filiales en España, Francia, Portugal y Turquía y de 85 distribuidores en otros 120 países de todo el mundo, alcanzando miles de puntos de venta.

La solución adoptada es un sistema de última generación, destinado a automatizar y optimizar el control logístico en la gestión del almacén de producto terminado. El sistema inició su implantación en febrero de 2007. La implantación se realizó por fases y cumpliendo hitos consecutivos sin que estos afectasen los compromisos previos de la empresa (fechas especiales para regalos). Su implantación también tomó en cuenta la integración con el sistema ERP de la empresa.

Como resultado se ha impulsado la eficacia, la productividad y la reducción de los costes de procesos de la compañía, automatizando el reabastecimiento de la zona de insumos, maximizando del espacio en almacén y optimizando la gestión por ubicaciones. Así se obtuvo una reducción en un 80% de las reclamaciones de clientes por falta o exceso de producto además de poder ubicar el total de artículos a lo largo de la cadena de producción.

Caso: Grupo Disfrimur

Tecnología: Sistemas de Gestión de Flotas

Grupo Disfrimur es un conjunto de empresas de capital familiar e independiente que tiene como misión dotar de logística, transporte y distribución a sus clientes, así como de los servicios complementarios al transporte. Siendo el transporte por carretera y la logística la principal actividad del grupo. Cuentan con una flota propia de 500 vehículos que permiten transportar todo tipo de mercancías relacionadas con la alimentación.

El sistema implantado tuvo que contemplar las siguientes necesidades:

- Proporcionar un sistema de mensajería entre los vehículos y la base, capturando información de recepciones y entregas.
- Trazabilidad de la mercancía (posición, temperatura, tiempos, etc.)
- Control remoto del equipo de frío.
- Incrementar la seguridad del vehículo (puertas e inmovilizador).
- Generar alarmas para una gestión más eficiente de la flota.
- Facilitar el cálculo del kilometraje de los vehículos y el control de costos.

Con estas consideraciones en mente, se dotó a los conductores de un Asistente Digital Personal (PDA) que permite gestionar las hojas de ruta, introducir los gastos del viaje, conocer el estado de la puerta, las temperaturas, etc. De igual forma se instalaron en los vehículos a través de dispositivos móviles (receptor GPS y un módulo de comunicaciones GPRS) así como de sondas de temperatura, sensores en las puertas de carga.

Entre los resultados del sistema se obtuvo la reducción de los kilómetros en vacío: 2% del total, optimización de otros costes fijos y trazabilidad de la mercancía (posición, temperatura, tiempos...). Así como un mejor aprovechamiento de la información del departamento de transporte, así como un incremento de la seguridad del vehículo.

Caso: Visionlab

Tecnología: Pick to Voice

Visionlab es una compañía de referencia dentro del sector óptico. Actualmente cuenta con 150 ópticas, con el objetivo de llegar a 280 centros en los próximos cuatro años. Desde 2005, sus nuevas políticas comerciales, el aumento de la actividad publicitaria y una concentración de la venta en fines de semana, así como el compromiso de Visionlab de entregar las gafas en menos de 1 hora, hizo que la compañía se viera obligada a considerar una modernización y adecuación de su modelo logístico.

La necesidad de incrementar la productividad en el área de selección de trabajo consiguió la implantación de un sistema picking-to-voice (manos y ojos libres), aceptado fácilmente por los operarios ya que utiliza un

medio de comunicación natural y de fácil formación. Dando como resultado un aumento de rendimiento, al permitir, además de las operaciones de selección, la realización de operaciones de almacenaje. El sistema se complementa con equipos automáticos (carruseles horizontales y verticales), integrados directamente a través de sistemas de reconocimiento de voz, y todo ello gestionado por el sistema.

La adopción del sistema dio como resultado una mayor ergonomía, un aumento de productividad, reducción de errores, eliminación del equipamiento electrónico en los carros de picking y en los carruseles, reducción en los costes de mantenimiento y mayor flexibilidad.

Caso: Presto Ibérica, S.A.

Tecnología: Radio frecuencia

Presto Ibérica es un fabricante, entre otros productos, de plomería así como de válvulas termoestáticas, operando en todo tipo de edificios e instalaciones de uso público o privado. Presto posee una planta donde dispone de tres almacenes bien diferenciados:

- Almacén de Materias Primas: con unas 2.400 referencias en más de 600 ubicaciones almacenadas en estanterías metálicas, pallets de madera y diferentes tipos de contenedores.
- Almacén de Producto Terminado: incluye más de 250 referencias de las que se tiene existencias de manera continuada, entre las que se encuentran todos los principales modelos.
- Almacén de Producción: situado en torno al área de producción, donde se ubican las referencias más usuales y comunes en la producción del elemento, con objeto de que los operarios de montaje se surtan por sí mismos de las piezas necesarias sin necesidad de interferir en la actividad del Almacén de Materias Primas.

Por las características de los almacenes, del tipo de productos y referencias, la operación traía consigo la pérdida o extravío temporal o permanente de piezas, ineficacias a la hora de la preparación de los lotes de piezas necesarias para atender las órdenes de producción, o el empleo excesivo de tiempo y recursos para la localización de piezas y el consiguiente desgaste.

Dada su dimensión y los limitados recursos de que se disponían optaron por tecnología RFID, para integrarla en la incorporación de un nuevo sistema de Gestión de Almacén dando como resultado la reducción al mínimo en el tiempo de búsqueda de componentes y productos, el control de los inventarios en tiempo real, y que los mandos y operarios del almacén manejan en su actividad una herramienta sencilla, fácil de aprender y fiable.

Caso: 3M.

Tecnología: EDI

3M (de España) es una empresa cuyos productos y servicios se agrupan en seis mercados diferentes: Consumo y Oficina, Pantallas e Imagen Gráfica, Electricidad, Electrónica y Telecomunicaciones, Salud, Industria y Transportes, Seguridad y Servicios de Protección.

Durante el año 2006, 3M remitió a sus clientes un total de 164.987 expediciones, debiendo ir cada una de ellas perfectamente documentada a través de varias agencias de transportes, servicios urgentes e

incluso medios propios de los clientes. El total de paquetes enviados fue de 1.722.555, lo que equivale a una media de más de 10 paquetes por expedición.

Pensando en un objetivo final que supusiera la completa eliminación de papeles, 3M diseñó un proceso innovador mediante el cual el mismo documento que hasta la fecha viene acompañando físicamente a la mercancía se puede enviar por correo electrónico a la dirección del cliente.

Al ser el archivo enviado un documento en formato PDF, su lectura e interpretación es exactamente igual que la del documento que se imprime en papel y adjunta a la mercancía.

Desde la puesta en marcha de la solución se han reducido drásticamente las solicitudes de copias adicionales, lo que redundará en beneficio de los clientes y en una reducción del tiempo dedicado a labores administrativas, y se ha constatado una mayor satisfacción en aquellos clientes que reciben el documento electrónico por su agilidad, fiabilidad y garantía. Además, junto con el ahorro de papel y tinta, esto tiene un claro impacto ambiental.

2. 6. Conclusión

Como se puede apreciar en este capítulo, las Tecnologías de la Información y la Comunicación están ya fuertemente asociadas con los procesos logísticos de las empresas por los múltiples beneficios que otorgan, tales como:

- Mayor rentabilidad en la preparación de pedidos
- Ahorro de mano de obra
- Reducción de los ciclos de preparación
- Alta fiabilidad
- Control de inventario y ahorro de espacio.
- Aumento de la productividad debido al control en tiempo real de los equipos y el personal.
- Mayor precisión por la identificación automática.
- Reducción de los niveles de inventario y de los niveles de seguridad de stock.
- Optimización del espacio de almacén.
- Mejoras en la gestión y el control al facilitar las tareas de planificación y el seguimiento.
- Reducción del trabajo administrativo.
- Aumento del nivel de servicio.

Sin embargo, la adopción de estas tecnologías no solo se debe promover por los beneficios que traen consigo. El costo de no hacerlo puede significar la desaparición de la empresa ya que estas tecnologías pueden marcar la diferencia entre si un cliente adopta a un proveedor o no, ya que estas tecnologías dan un valor agregado a los clientes.

Cabe señalar que la adopción de una u otra tecnología debe contemplar las necesidades de la empresa y sobretodo, la facilidad para adoptarla y usarla. Así como de proveer información adicional para la toma de decisiones.

Capítulo 3 Sistema Propuesto

En este capítulo se muestra el sistema propuesto para resolver el problema de inventario distribución integrando con tecnologías de Web. En la primer sección se describe el problema y se muestran varias de las consideraciones del modelo así como la estrategia de solución (Elizondo, 2005). En la segunda parte se muestra la integración con las tecnologías Web.

3. 1. Problema de Inventario - Distribución (cadena de suministros)

El problema de Inventario Distribución aborda las dos actividades más costosas en la cadena de suministros (manejo del inventario y distribución física de los productos), por lo que lograr una mejora aquí, da como resultado beneficios para la empresa.

El problema de Inventario-Distribución o IRP (Inventory Routing Problem) se refiere a la distribución repetida de un producto desde uno o varios almacenes a múltiples consumidores, con el fin de evitar el desabasto en un periodo de tiempo. La industria del gas, los proveedores de supermercados y tiendas departamentales son algunos ejemplos de este problema.

La primer tarea que se debe de atender, es el manejo del inventario. Convencionalmente, son lo clientes quienes se encargan de administrar sus propios inventarios y por lo tanto, son ellos los encargados de llamar al proveedor cuando lo consideran necesario. Esto tiene el inconveniente de que no se crean patrones consistentes en los pedidos.

Para mitigar este problema, se considera el uso de los dispositivos de intercambio electrónico de datos permiten conocer prácticamente en tiempo real los inventarios de los clientes, por lo que se puede saber de manera exacta la cantidad de producto que necesitan.

3. 1. 1. Formulación del modelo

El modelo para el IRP de un único almacén y de único período, se puede formular de la siguiente manera:

$$\text{Min} \sum_{i,j,k} c_{ij} x_{ijk} + \sum_i s_i(w_i)$$

Sujeto a:

$$\sum_i w_i y_{ik} \leq b \quad \forall k = 0,1,\dots,K$$

(1) Asegura que la carga asignada a un vehículo no es mayor a su capacidad.

$$\sum_i w_i \leq W$$

(2) Garantiza que la cantidad embarcada no es mayor que W .

$$w_i \geq 0$$

(3) Garantiza que la cantidad no es negativa

$$\sum_{k=1}^K y_{0k} = K \quad (4)$$

$$\sum_{k=0}^K y_{ik} = 1 \quad i = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$0 \leq y_{ik} \leq 1 \quad (6)$$

$$\sum_i x_{ijk} = y_{jk} \quad \forall j, k \quad (7)$$

$$\sum_j x_{ijk} = y_{ik} \quad \forall i, k \quad (8)$$

$$\sum_{i \in S} x_{ijk} \leq S - 1 \quad \forall S \subseteq \{1, \dots, n\} \quad (9)$$

$$0 \leq x_{ik} \leq 1 \quad (10)$$

Donde

K = número de vehículos.

W = Cantidad total de producto disponible en el almacén.

b = Capacidad del vehículo.

x_{ijk} es igual a uno si el vehículo k va del lugar i al lugar j , cero en caso contrario.

$s_i(w_i)$ es la función del costo del inventario.

c_{ij} es el costo de ir del lugar i al lugar j

Las restricciones (4) a (10) sirven para garantizar factibilidad

Los aspectos básicos que componen a un IRP son:

- **Ruteo:** entendido como el movimiento físico de bienes entre diferentes sitios geográficos, tales como depósitos, almacenes, puntos de producción, puntos de venta, etc.
- **Inventario:** considerando elementos, tales como cantidades y valores de los bienes que son movidos y que son importantes para la definición y evaluación de estrategias de organización y operación.
- **Dinamismo:** los primeros dos aspectos están combinados en un ambiente dinámico de tal forma que, repetidas decisiones son tomadas en diferentes momentos del horizonte de tiempo, y decisiones pasadas influirán en decisiones futuras.

Los decisores deben de preguntarse:

- **Cuándo** deben ser hechos los envíos; *i. e.*, cuándo deben ser cargados los vehículos y cuándo deben ser visitados los clientes
- **Cuánto** debe de cargar cada vehículo, en términos de la cantidad de cada producto bajo consideración, y cuánto de tal carga debe distribuirse entre los clientes que la requieren.
- **Qué ruta** debe seguir cada vehículo para visitar a sus clientes.

Para clasificar un IRP se toman en cuenta los siguientes elementos:

- Topología.** La relación origen – destino puede ser una a uno, uno a muchos, muchos a uno o muchos a muchos.
- Número de productos.** Uno o muchos productos.
- Tipo de demanda.** Puede ser totalmente conocida o incierta y entonces será descrita por una variable aleatoria, de hecho, puede ser totalmente desconocida, si no hay una representación estocástica asociada a ella.
- Dominio de decisión.** Se consideran dos casos: frecuencia, relacionada con qué tan frecuente es un envío respecto a otro; tiempo, generalmente modelos de tiempo discreto.
- Restricciones/Objetivo.** La relación entre las variables se puede expresar como restricción o como objetivo.
- Costos.** Se busca la minimización de los costos relacionados con el transporte e inventario.
- Métodos de solución propuestos.** De manera general se clasifican en aproximados y exactos. Entre otras clasificaciones están dependiendo de los modelos matemáticos usados (lineales, enteros o no lineales), o respecto al tiempo, frecuencia, descomposición o tamaño de lote.

3. 1. 2. Estrategia de Descomposición Cruzada Separable

La estrategia de Descomposición Cruzada Separable (Elizondo, 2005) nos permite hacer frente al problema de Inventario – Distribución, el motivo para emplear dicha estrategia es que supone que se conoce el nivel de inventario de los clientes.

Para poder hacer uso de la estrategia de Descomposición Cruzada Separable se consideraron los siguientes supuestos:

1 Topología

Se considera un solo almacén central y se distribuye a varios clientes, la posición geográfica del almacén y los clientes así como de la distancia entre ellos es conocida.

2 Producto

Se considera un único producto, el cual se considera como unidad para la capacidad de los vehículos, *i. e.*, la capacidad de carga de un vehículo está medida en unidades del producto.

3 Demanda.

La demanda de cada cliente es conocida al momento de iniciar el ruteo.

4 Tipo de decisión

Por tiempo, los periodos de tiempo son fijos, de un día.

5 Restricciones

La demanda diaria del cliente no excede la capacidad del inventario.

No tiene límite la capacidad proveedora del almacén.

El almacén dispone de los vehículos necesarios, no tienen restricción de capacidad

El número de vehículos se obtiene usando la cota inferior trivial (Toht y Vigo, 2002) dada por la demanda de todos los clientes entre la capacidad de los vehículos.

El objetivo es satisfacer la demanda de los clientes al menor coste.

6 Costos.

Se debe de minimizar los costos, estos son los de inventario y los relacionados con la transportación.

La estrategia propuesta plantea tres fases secuenciales para solucionar el problema.

Fase I

En la fase I se resuelve ¿A que clientes se debe de atender ese día?. Para resolver esta fase la estrategia se apoya en que se conocen las demandas de cada cliente. Esto se logra mediante el uso de la tecnología, originalmente mediante el uso de dispositivos de intercambio electrónico de datos, en el capítulo 2 se plantean el uso de servicios Web para facilitar esta tarea.

En cuanto a periodo de revisión, este se considera fijo y se establecen los siguientes pasos para determinar si se debe reabastecer

- El reabastecimiento se realiza hasta que se cumple el periodo de revisión;
- Se tiene un tamaño de inventario promedio grande ya que éste debe proteger también contra el desabasto durante el periodo de revisión;
- La cantidad q que debe de reabastecerse, varía cada vez que se hace el reabasto;
- El conteo se hace sólo al momento de la revisión (generalmente al inicio del periodo).

En el siguiente diagrama se muestra el proceso:

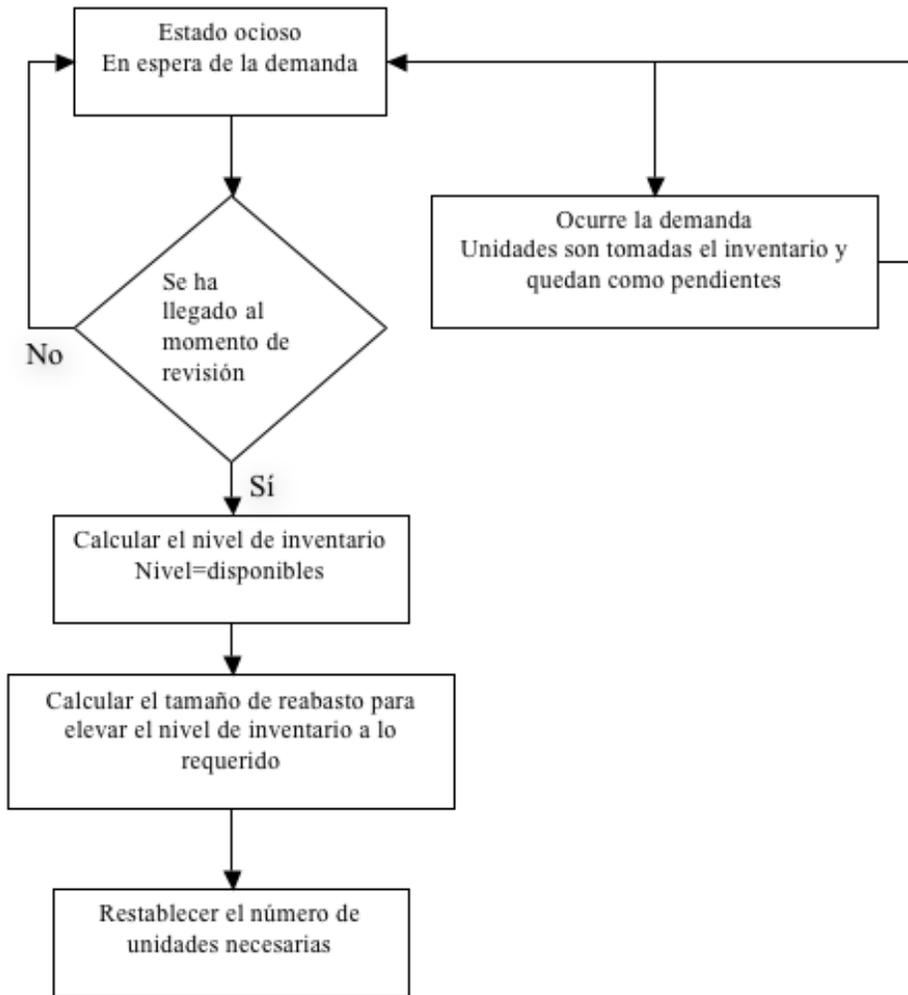


Figura 3.1 Diagrama para el restablecimiento de la demanda.

Fase II

La fase II responde a las preguntas ¿Qué vehículo va a atender a cada cliente? Y ¿Cuánto entregar al cliente cuando sea visitado? En este caso se utiliza la Descomposición Cruzada Separable para el problema de asignación de vehículos y distribución o AVD.

El problema de asignación de vehículos y distribución o AVD se puede plantear de la siguiente manera:

$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^m f_i y_i$$

Sujeto a

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1, \quad \forall j$$

(1) Asegura la atención total de la demanda

$$x_{ij} \leq y_i \quad \forall i, j$$

(2) Establece la distribución sólo con vehículos activos

$$\sum_{i=1}^m a_i y_i \geq \sum_{j=1}^n d_j$$

(3) Considera el uso de suficientes vehículos para satisfacer la demanda

$$\sum_{j=1}^n d_j x_{ij} \leq a_i y_i \quad \forall i$$

(4) Considera no exceder la capacidad del vehículo

$$x_{ij} \geq 0, \quad y_i = 0,1 \quad \forall i, j$$

Donde

m : número de vehículos disponibles

n : número de clientes

d_j : demanda del cliente j

f_i : costo fijo para la ruta i

a_i : capacidad del vehículo i

c_{ij} : costo (en función de distancia recorrida) de distribución al cliente j utilizando el vehículo i

x_{ij} : fracción de la demanda total atendida del cliente j utilizando el vehículo i

$y_i = 1$ si se usa el vehículo i , 0 en otro caso.

En cuanto al procedimiento de descomposición cruzada separable, éste se efectúa de la siguiente manera:

Algoritmo

1 Iniciar

$$v_D(-\infty), v_P(+\infty); Y_i^0=1 \text{ para } i=1, \dots, m; \lambda_i^0 = -\frac{f_i}{a_i} \text{ para } i=1, \dots, m$$

2 Resolver subproblema dual

$$SD_{\lambda^k} \text{ (problema de transporte S) para obtener } y_i^1 = 1, \sum_j x_{ij} \text{ y } v(SD_{\lambda^k})$$

2.1 Calcular

$$\lambda_i^k = -\frac{f_i}{\sum_j x_{ij}}, \text{ para } i=1, \dots, m$$

3 Probar si

$\lambda_i^{k-1} = \lambda_i^k$ para $y_i^k = 1$ entonces terminar.

De otra forma identificar cuales $y_i^k = 1$ para $i=1, \dots, m$.

4 Resolver subproblema primal

$$SP_{\lambda_i^k} \text{ (problema de transporte por Benders), para obtener } v(SP_{\lambda_i^k})$$

5. Probar si

$v(SP_{\lambda_i^k}) = v(SD_{\lambda^k})$ entonces terminar.

De otra forma regresar a la etapa 2 pero ahora con λ_i^k

El diagrama de flujo queda de la siguiente forma:

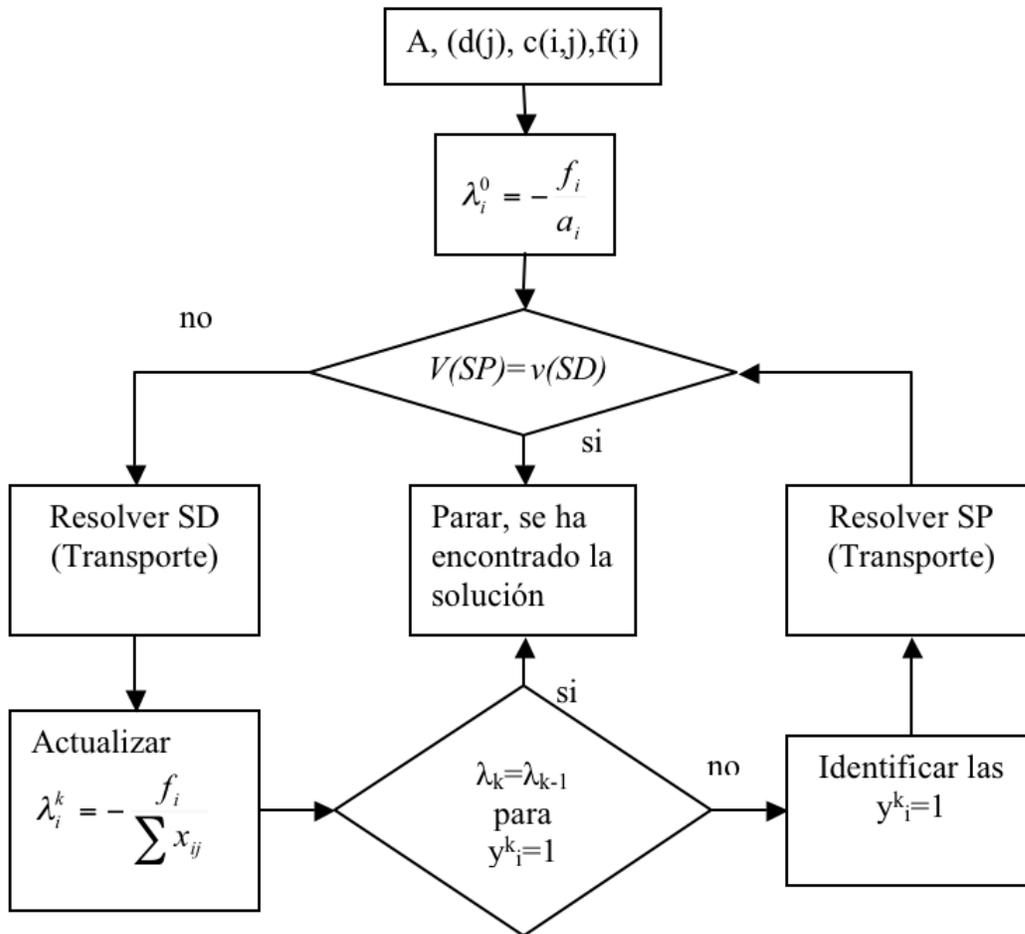


Figura 3. 2. Diagrama de Flujo para la asignación de vehículos por Descomposición Cruzada Separable. Desarrollado por el Dr. Ricardo Aceves García

Fase III

La fase III responde a la pregunta ¿Cuál es la ruta de visitas de cada vehículo? el cual es un problema del agente viajero o TSP (por sus siglas en inglés) para cada vehículo utilizado. Aquí se utilizó el método *Dos Optimal Prim*, el cual es una heurística que consiste en que a partir de un ciclo Hamiltoniano llamado H (que puede ser ordenado o arbitrario), se eliminan dos aristas no consecutivas y son remplazadas por un nuevo par (no iguales a las anteriores) creando un nuevo ciclo Hamiltoniano, si existe alguna mejora en la ruta, el proceso se repite usando el nuevo ciclo hasta que se recorran todos los nodos.

Algoritmo para el problema del agente viajero (desarrollado en Java):

```

public static void twoopt(int []w,int []route,int tweight){
    int ahead, i, i1, i2, index, j, j1, j2, last, limit, max, max1,
    n, n1, n2, next, s1 = 0, s2 = 0, t1 = 0, t2 = 0;
    int []ptr;
    n=route.Length;
    /* inicialización */
  
```

```

n1 = n - 1;
n2 = n1 - 1;
ptr = new int[n];
for (i=0; i<n1; i++)
    ptr[route[i]] = route[i+1];
ptr[route[n1]] = route[0];
do {
    max = 0;
    i1 = 0;
    for (i=0; i<n2; i++) {
        limit = (i == 0) ? n1:n;
        i2 = ptr[i1];
        j1 = ptr[i2];
        for (j=i+2; j<limit; j++) {
            j2 = ptr[j1];
            max1 = w[i2+i1*n]+w[j2+j1*n] -
                (w[j1+i1*n]+w[j2+i2*n]);

            // Se encuentra un mejor par de nodos para salvar
            if (max1 > max) {
                s1 = i1;
                s2 = i2;
                t1 = j1;
                t2 = j2;
                max = max1;
            }
            j1 = j2;
        }
        i1 = i2;
    }
    // Se actualiza con una mejor ruta
    if (max > 0) {
        // Se cambian lo nodos.
        ptr[s1] = t1;
        next = s2;
        last = t2;
        //se invierten las aristas apropiadas.
        do {
            ahead = ptr[next];
            ptr[next] = last;
            last = next;
            next = ahead;
        } while (next != t2);
        // Cambiamos el peso para la nueva ruta.
        tweight -= max;
    }
} while (max != 0);
// Actualizamos la ruta.
index = 0;
for (i=0; i<n; i++) {
    route[i] = index;
    index = ptr[index];
}
}

```

Implementación del algoritmo Dos Optimal Prim en lenguaje Java.

La eficiencia de cada fase se muestra en la siguiente tabla:

Fase de la estrategia	Orden del algoritmo
Fase I	$O(n)$
Fase II	$O(n^3)$
Fase III	$O(n^2)$

Esto da como resultado que el orden de la estrategia propuesta es $O(n^3)$ ya que es la cota superior de la estrategia completa.

3. 2. Desarrollo del Sistema

Típicamente, en un problema de inventario distribución, se tienen dos tipos de actores principales, los clientes y los proveedores los cuales realizan las siguientes operaciones:

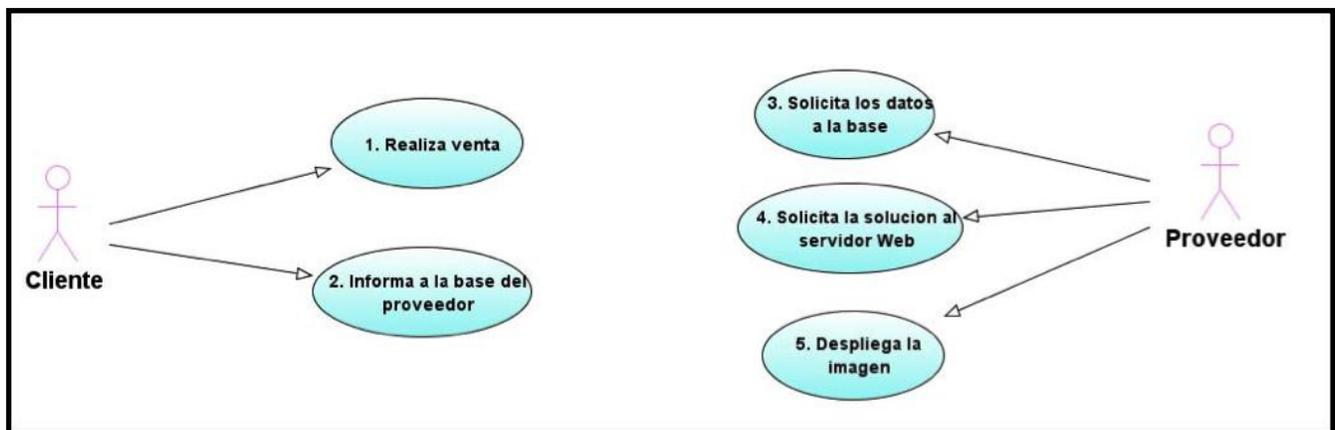


Figura 3. 3 Casos de uso de clientes y proveedores. Elaboración propia.

- **Realiza la venta.** El cliente efectúa una venta, por lo que disminuye la cantidad que tiene del producto.
- **Informa a la base del proveedor.** La aplicación del cliente se enlaza mediante el Web con la base de datos del proveedor para informar la nivel de inventario del cliente.
- **Solicita los datos a la base.** Con base en la cantidad de producto que tiene cada cliente y el nivel de inventario mínimo, la base le informa al proveedor acerca de los clientes que tienen que ser visitados, así como de los vehículos que están disponibles.
- **Solicita la solución al servidor Web.** La aplicación del proveedor se enlaza con el servidor Web, le envía los datos del problema y recibe las rutas que se deben efectuar.
- **Despliega la imagen.** Una vez recibidas las rutas, se muestran como texto e imagen en la aplicación del proveedor.

Sin embargo, dado que el sistema propuesto simula ambos lados, las tareas del usuario son las siguientes:

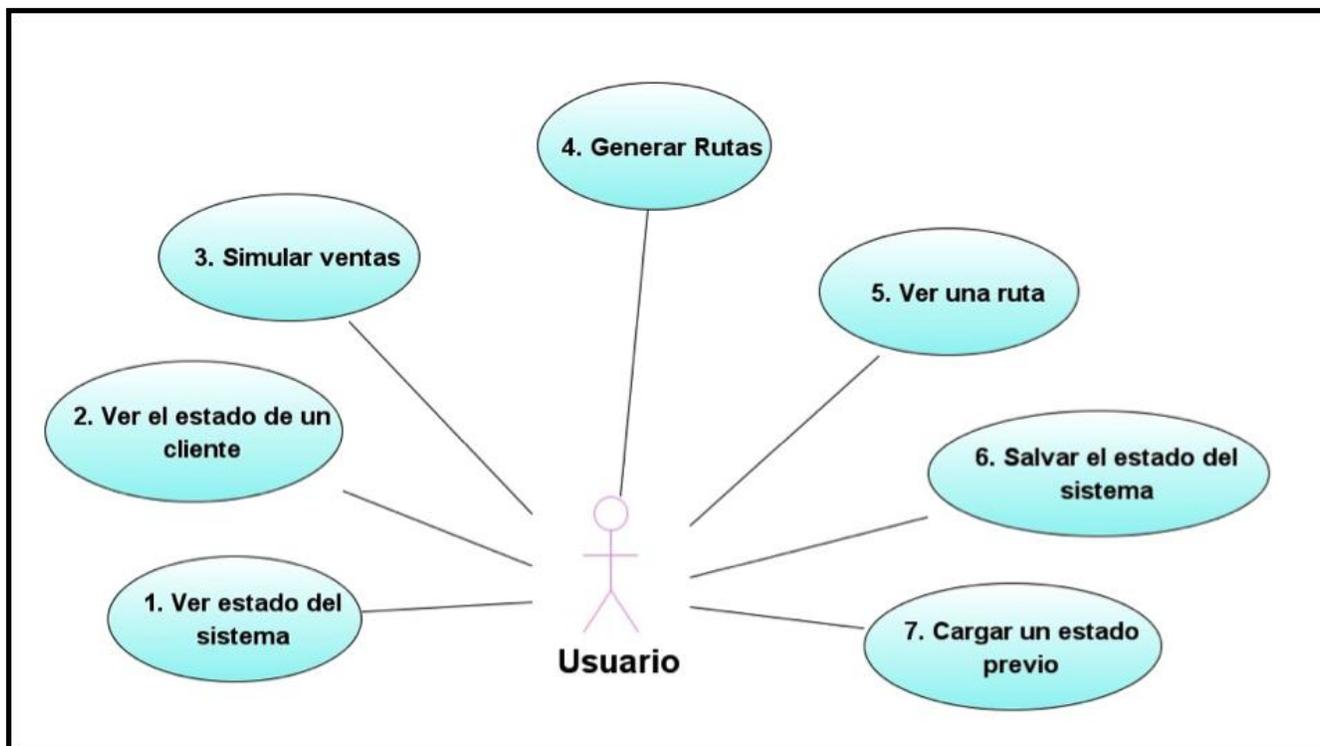


Figura 3. 4 Casos de uso. Elaboración propia.

- **Ver el estado del sistema.** El usuario ve en una página un mapa dónde se señalan los diferentes clientes.
- **Ver el estado de un cliente.** Se muestra una página donde aparece la dirección del cliente, así como el nivel de inventario y la fotografía del establecimiento.
- **Simular ventas.** Dado que el sistema controla varias tiendas (50 en ejemplo), la tarea de cambiar el nivel de inventario para cada una resulta ineficiente para ilustrar el sistema. Por este motivo el usuario del sistema puede realizar una simulación de ventas, esto lo que hace es decrementar el nivel de inventario de cada tienda de forma aleatoria.
- **Generar Rutas.** El sistema determina a qué clientes hay que abastecer y genera las rutas pertinentes.
- **Ver una ruta.** El sistema muestra la ruta en un mapa.
- **Salvar el estado del sistema.** Si el usuario lo desea, se pueden salvar las condiciones actuales del sistema para su análisis posterior.
- **Cargar un estado previo.** Se establecen los valores de los clientes con base en un estado salvado previamente.

3. 2. 1. Organización del sistema.

El sistema se encuentra compuesto de diversos módulos agrupados con base en su funcionalidad dentro de cinco paquetes¹¹ (Figura 3. 5). El primero de ellos, Datos, se encarga de gestionar los datos tanto de

¹¹ El lenguaje de programación empleado para desarrollar el sistema es Java, por convención cada clase (archivo) se relaciona con un módulo. Las clases se agrupan en paquetes (directorios) con base en la labor que desempeñan.

los clientes, lugares, pedidos, productos y vehículos, así como de guardar dicha información en una base de datos.

El segundo, Lógica, que conforma el núcleo del sistema, está formado por un componente reutilizable capaz de solucionar el problema de inventario distribución mediante el algoritmo de descomposición cruzada separable, aunque tiene la capacidad de solucionar problemas del agente viajero de forma individual, en cualquier caso lo único que necesita es una matriz de datos. Dentro de este paquete se encuentra también un generador de imágenes para poder mostrar la ruta que seguirán los transportes.

El paquete de Vista tiene componentes de enlace para los usuarios, se trata básicamente de las páginas que verán los usuarios del sistema. Cabe señalar que el desarrollo se hizo en ambiente Web para mostrar su facilidad de distribución a través de la Internet, sin embargo, la interfaz con el usuario se puede desarrollar con facilidad en un ambiente de escritorio o en un dispositivo móvil.

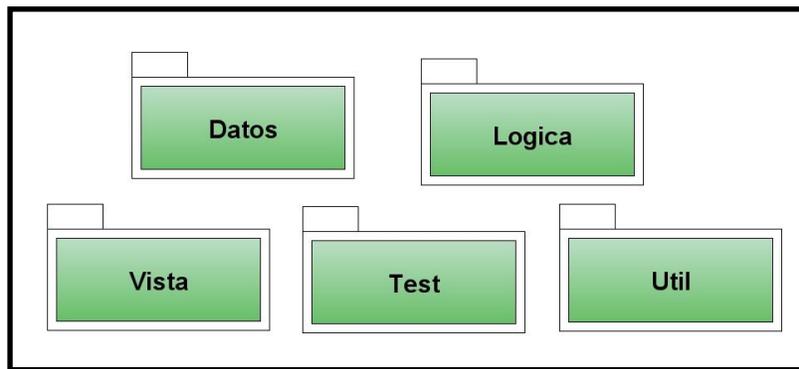


Fig. 3. 5 Paquetes (librerías) del sistema. Elaboración propia.

Los paquetes Util y Test contienen clases complementarias para el sistema, en el caso del paquete útil hay librerías para el manejo de matrices así como para el manejo de posición geográfica, y en el paquete Test se colocaron los programas de prueba para validar el funcionamiento del resto de los componentes.

3. 2. 2. Paquete de datos

En este paquete (Figura 3. 6) se encuentra una serie de estructuras de datos las cuales sirven para modelar las diferentes entidades del problema de inventario distribución. La principal ventaja de trabajar con este paradigma de programación (Orientado a Objetos) es que si se desea cambiar las propiedades de cualquiera de las estructuras se puede hacer fácilmente, lo cual es muy práctico si se desea hacer modificaciones en la forma en que interactúan las diferentes entidades.

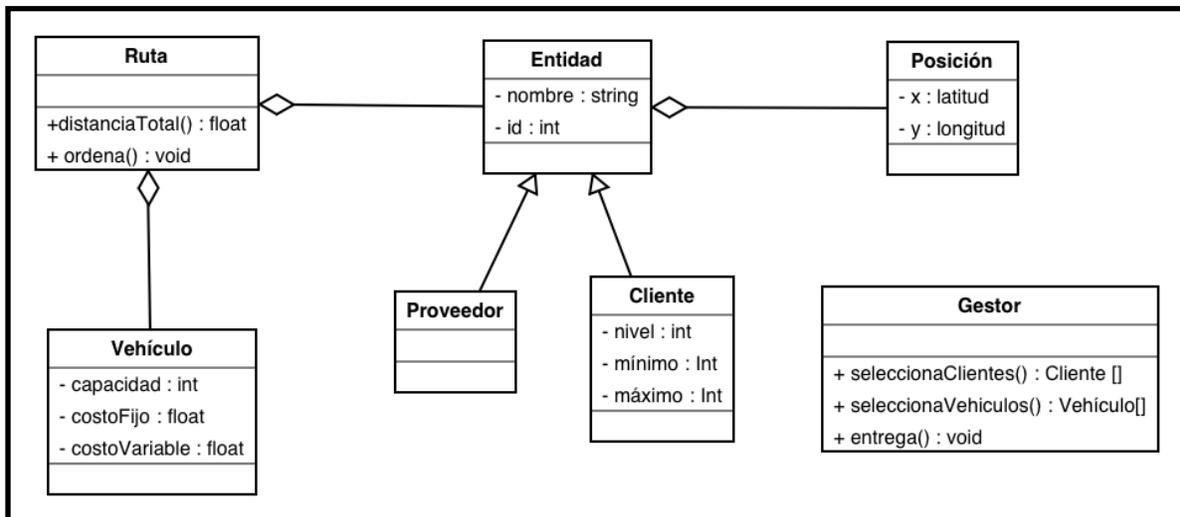


Figura 3. 6 Paquete para la capa de datos. Elaboración propia.

Las estructuras empleadas con sus respectivos atributos son:

Entidad

- nombre
- posición

Posición

- latitud
- longitud

Cliente

- dirección
- inventario
- nivel mínimo de inventario.
- nivel máximo de inventario.

Por herencia toma las características de la clase entidad.

Proveedor

Por herencia toma las características de la clase entidad.

Vehículo

- descripción
- capacidad
- costo fijo
- costo variable

Ruta

- proveedor
- clientes

Esta clase tiene la capacidad de calcular la distancia total de la ruta

Gestor

Esta clase es la encargada de gestionar la información de los clientes y vehículos para almacenarla en la base de datos, así como informarle al proveedor cuáles clientes debe de atender y cuáles vehículos están disponibles.

La forma en que determina si un cliente debe ser atendido, es si su nivel de inventario está por debajo del mínimo recomendado

3. 2. 3. Paquete de lógica del negocio

Dentro del paquete (figura 3.5) que compone la lógica del negocio, se encuentran las clases que se encargan de resolver los problemas de inventario distribución, así como la generación de rutas que se debe de seguir en un mapa.

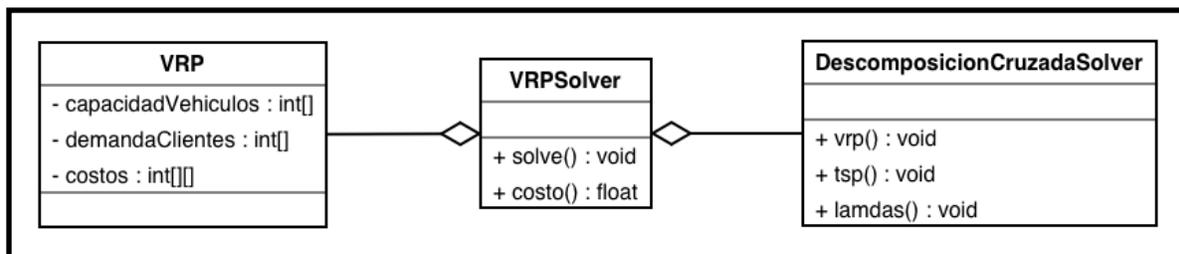


Figura 3. 7 Paquete (librerías) para solucionar el problema de inventario distribución. Elaboración propia

La clase **VRP**, se encarga de encapsular todos los datos de un problema de inventario distribución mediante el uso de objetos creados a partir de las clases del paquete de datos, es decir, es la encargada de tener una lista de clientes, una lista de vehículos y descomponerlos en matrices de costos.

La clase **DescomposicionCruzadaSolver** es el núcleo del sistema, en ella se encuentra los algoritmos para solucionar un problema de inventario distribución usando descomposición cruzada así como para solucionar un problema de agente viajero para cada una de las rutas generadas del algoritmo anterior. En ambos casos la información se recibe y entrega como matrices.

La clase **VRPSolver** se encarga de enlazar las dos clases anteriores transformando la información que se tiene como objetos de **VRP** y convirtiéndola en matrices para que **DescomposicionCruzadaSolver** solucione el problema, posteriormente se encarga de convertir la solución nuevamente en objetos.

Aquí, es necesario mencionar que basta con sustituir la clase **DescomposicionCruzadaSolver**, si lo que se desea es cambiar el algoritmo con el que se resuelve el problema de inventario distribución, y no

es necesario hacer mayores modificaciones al resto del sistema. Por lo que cambiar de algoritmo es relativamente sencillo.

3. 2. 4. Paquete Vista

Esta capa (figura 3. 8) está formada por las clases que interactúan con los usuarios. Como su nombre lo indica, el paquete vista contiene las interfaces que en este caso son páginas Web. Dichas páginas son sencillas y sólo muestran el uso de las TIC en el sistema. En un sistema real cada cliente debe tener su interfaz para poder controlar el inventario de todos sus productos, a diferencia de este sistema en que sólo se contempla un producto.

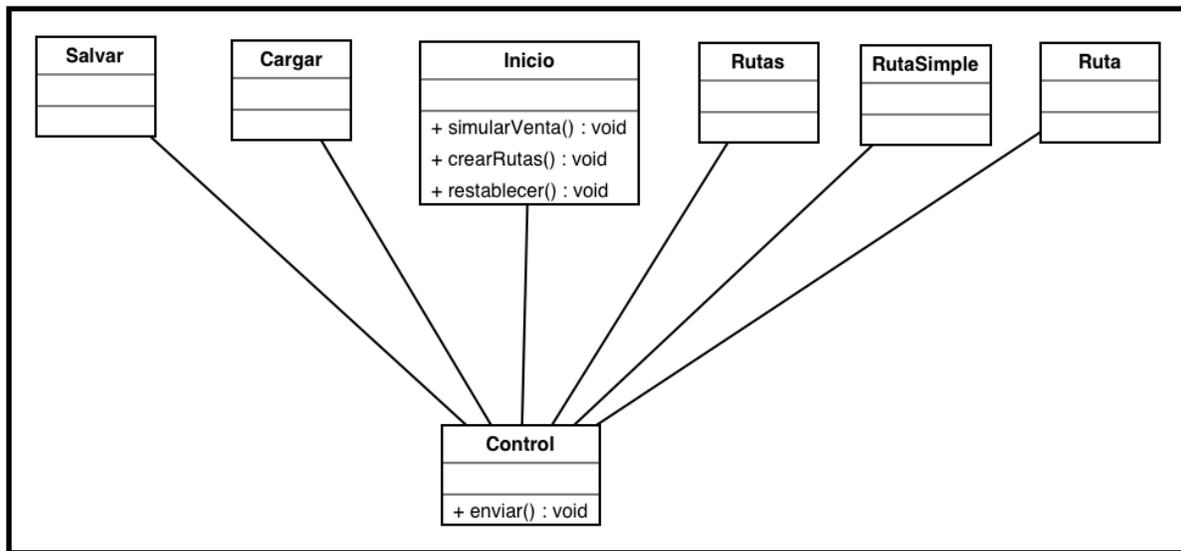


Figura 3. 8 Paquete para interactuar con el usuario. Elaboración propia

La clase **Inicio** es precisamente la clase encargada de mostrar los datos al usuario, es la página principal y muestra a través de iconos la posición de cada cliente respecto a una zona geográfica. Así como la ubicación del proveedor. Mediante el uso de color se muestra el nivel de inventario respecto al nivel mínimo requerido.

La clase **Control**, como su nombre lo indica se encarga de controlar la navegación entre las diferentes páginas, asimismo se encarga de enviar y recibir la información entre las clases de los otros paquetes.

La clase **Rutas** se encarga de mostrar las rutas que se generan por el sistema, estas rutas se muestran en modo texto listando cada uno de los puntos por los que pasa la ruta. En esta misma página se muestran las ligas tanto a la clase (página) **RutaSimple** y como a la clase **Ruta**, las cuales muestran sobre un mapa cada una de las rutas generadas. En el primer caso la ruta se muestra a través de líneas rectas, en el segundo caso la ruta se muestra a través de calles, respetando el sentido de las mismas.

Cabe señalar que aunque en un escenario real, el usuario puede contar ya con un sistema que controle su inventario, esto no es un impedimento para poder explotar sus datos.

3. 2. 5. Paquete Util

Este paquete (figura 3. 9) consiste de un grupo de librerías que auxilian al resto de los componentes para solucionar el problema de inventario ruteo. Las clases **ComparadorCliente** y **ComparadorEntidades**, como sus nombres indican, sirven para comparar objetos de tipo **Cliente** y **Entidad** respectivamente y son usadas para poder ordenar los diferentes objetos.

La clase **Matrices** contiene métodos que permiten realizar operaciones de matrices. Dichos métodos son necesarios para implementar el algoritmo de descomposición cruzada.

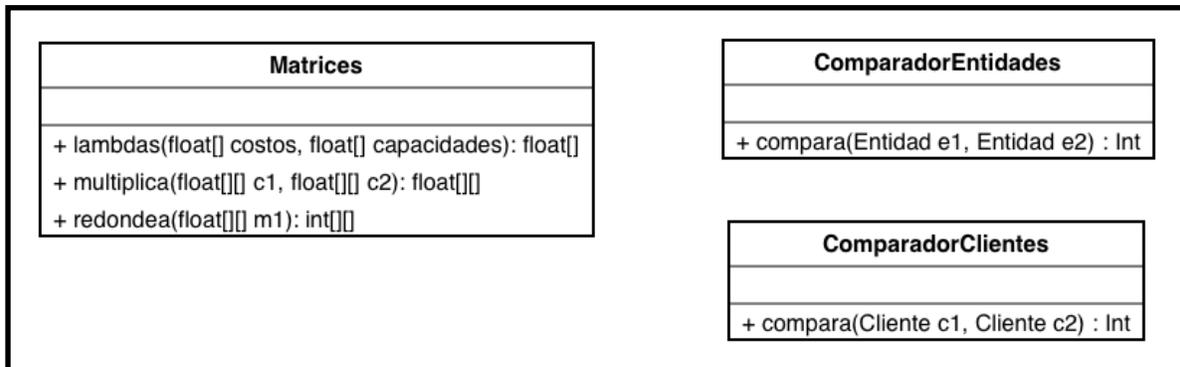


Figura 3. 9 Paquete Util. Elaboración propia

3. 2. 6. Secuencia del sistema

El sistema tiene tres procedimientos principales: Iniciar el sistema, simular una venta y generar las rutas de distribución. La figura 3. 10 muestra el proceso inicial del sistema.

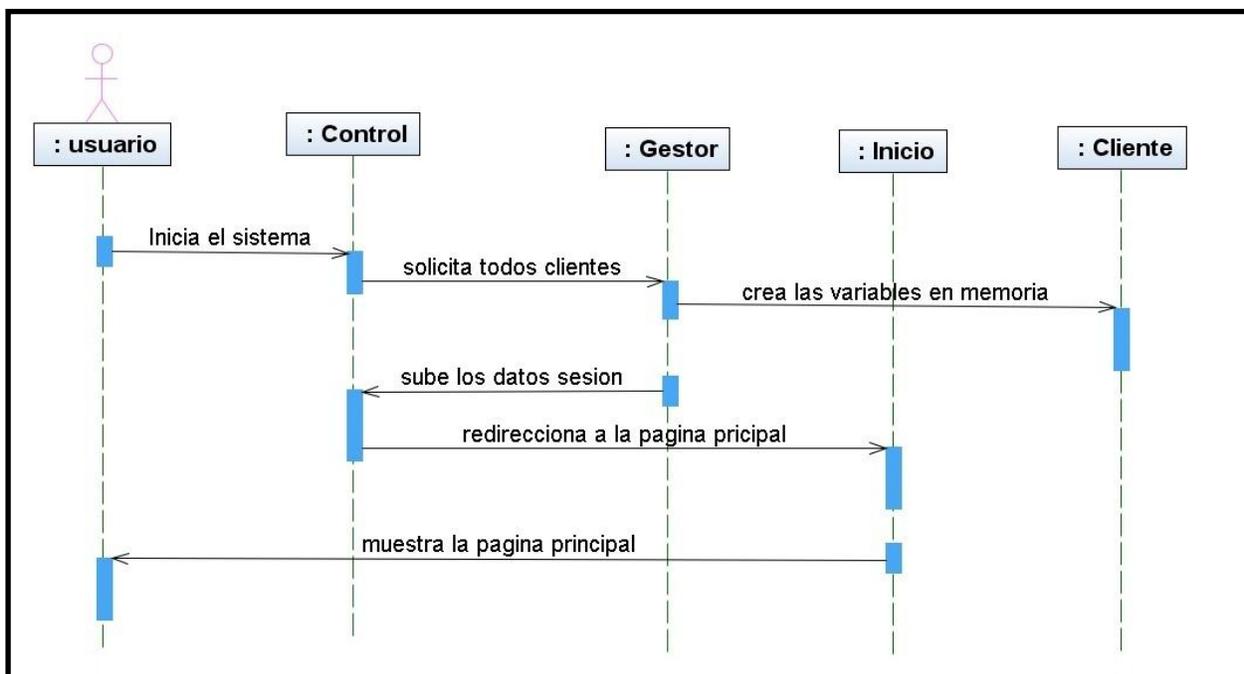


Figura 3. 10. Diagrama de secuencia para el cliente. Elaboración propia.

1. El usuario inicia el sistema
2. Se crean las variables compuestas (objetos) para cada uno de los clientes en el sistema. El nivel de inventario se encuentra en el máximo.
3. Se suben los datos a sesión (al espacio de memoria destinado a un usuario Web)
4. Se envía la información a la página principal.
5. Se muestra gráficamente los datos al usuario

En la figura 3. 11 se muestra la secuencia para simular una venta.

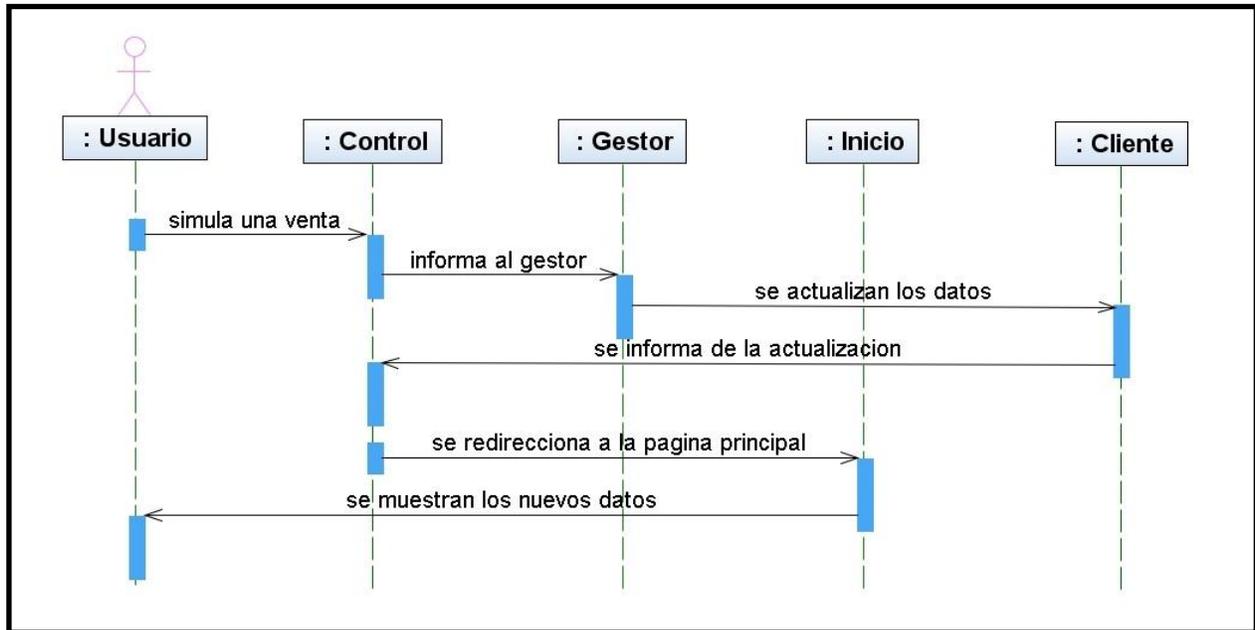


Figura 3. 11. Secuencia para simular una venta. Elaboración propia

Aquí los pasos son los siguientes:

1. El usuario simula una venta.
2. Se informa a cada cliente que tiene que actualizar su estado, se reduce su nivel de inventario en una cantidad aleatoria.
3. Se envía el control a la página principal
4. Se muestran los nuevos datos

En la figura 3.12 se muestra la secuencia para observar las rutas creadas por el sistema

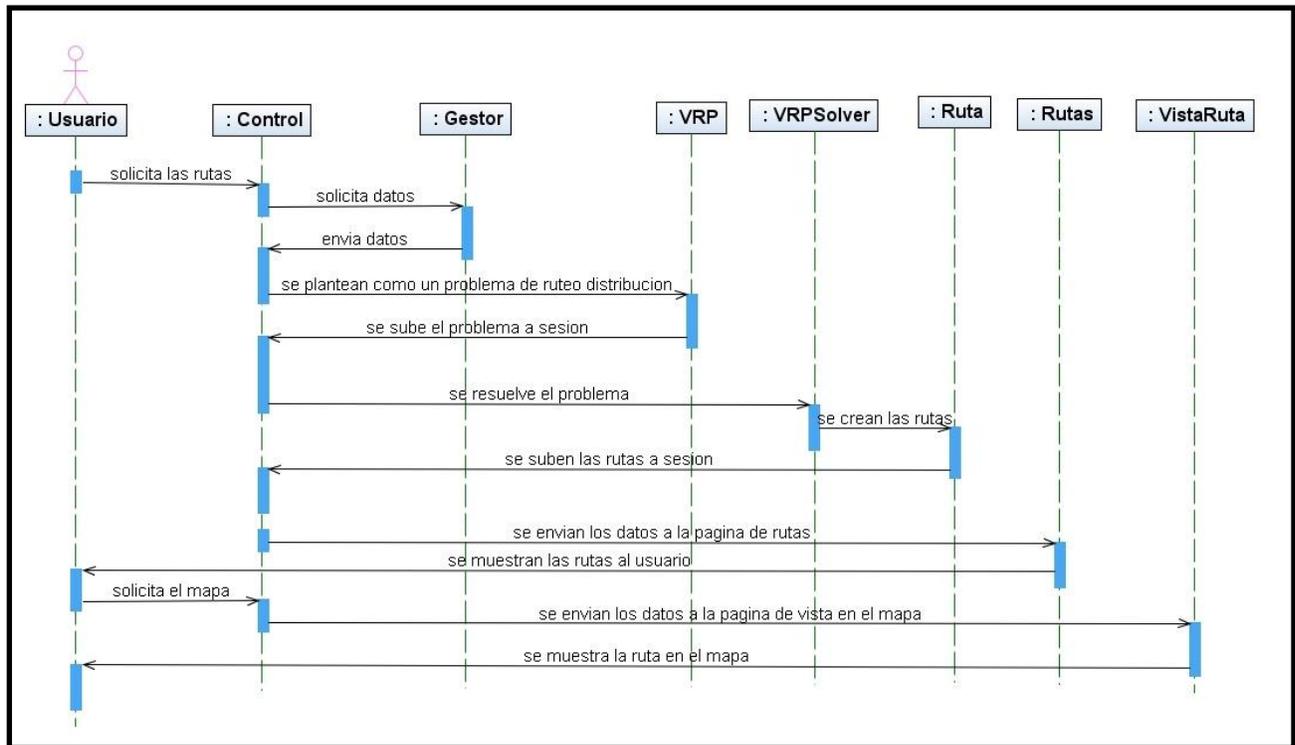


Figura 3. 12 Secuencia para generar las rutas. Elaboración propia.

Una vez que se han repetido varias simulaciones de venta (si no hay clientes con nivel de inventario por debajo del mínimo recomendado, no se generará ninguna ruta) lo siguiente es generar las rutas, para hacerlo el sistema realiza los siguientes pasos:

1. El usuario solicita las rutas.
2. El gestor determina que clientes deben de ser atendidos
3. Los datos se plantean como un problema de inventario distribución, es decir, se crean las matrices de costos.
4. Se resuelve el problema.
5. Las matrices resultantes se transforman en estructuras de datos de tipo Ruta.
6. Se suben las rutas a sesión.
7. Se envía la información a la página “Rutas”
8. Se muestra al usuario en forma de texto las rutas creadas y se añaden ligas para que pueda apreciarlas en un mapa
9. El usuario solicita el mapa a través de las ligas creadas en el paso anterior.
10. Se envía la información a la página “Ruta”
11. Se despliega la ruta sobre el mapa.

Capítulo 4. Resultados de la aplicación

4. 1. Resultados a partir de problemas conocidos de inventario-distribución

En esta parte se muestran los resultados obtenidos por el sistema propuesto, varios de los problemas fueron obtenidos del sitio TSPLIB¹², el cual contiene varios recursos relacionados a área logística, entre ellos problemas de Distribución - Repartición.

En lo referente a la estrategia propuesta para solucionar el problema de Distribución el primer inconveniente que se encontró fue que el algoritmo usado para distribución de vehículos, pero que está restringida a enteros. Con base en esto se hizo una modificación al algoritmo para que pudiese trabajar con flotantes, ya que es necesario para la estrategia de descomposición cruzada. El resultado para el problema de 32 clientes y cinco vehículos:

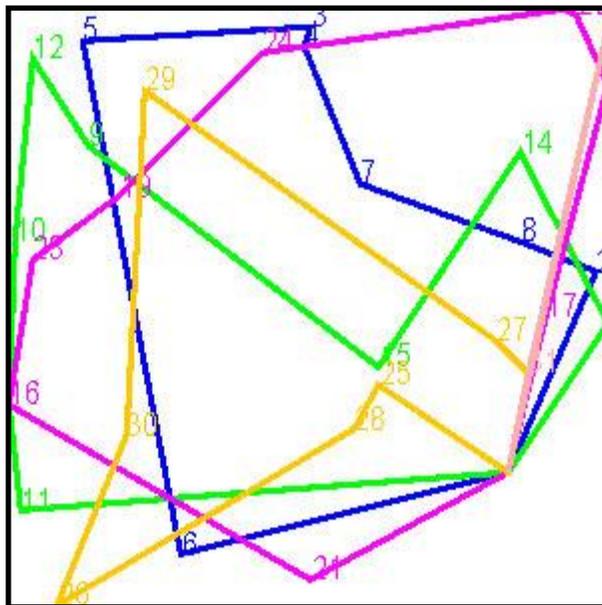


Figura 4. 1 Resultado para un problema de 32 clientes y 5 vehículos.

Como se puede apreciar en la figura 4. 1 los caminos se cruzan por lo que fácilmente se puede ver que no es la solución óptima. Aquí se observó que la forma en la que trabaja el algoritmo de asignación de vehículos se ve afectado por el orden en que son ingresados los datos de los clientes que en este caso corresponde al orden en el que están registrados en el archivo de datos. El costo total en este caso fue de 1309.88 (unidades de distancia).

Dado que el algoritmo para la asignación de vehículos es sensible al orden en el que son ingresados los clientes, se hizo una modificación para que el orden de los clientes se determinara conforme al ángulo

¹² <http://comopt.ifl.uni-heidelberg.de/software/TSPLIB95/>

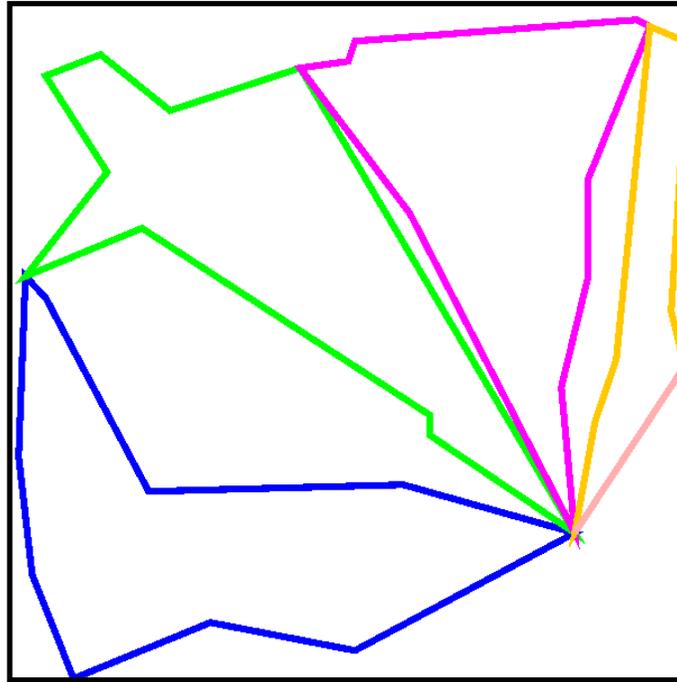


Figura 4. 3. Resultado de la solución para el problema de 32 clientes y 5 vehículos con los clientes ordenados por su ángulo respecto al proveedor y cambiando las posición inicial por la final.

4. 2. Resultados obtenidos a partir de establecimientos ubicados en la Ciudad de México

Hasta aquí, los resultados corresponden sólo a la implementación del algoritmo de Descomposición Cruzada Separable. Sin embargo el objetivo de esta tesis es mostrar que se pueden vincular estos conocimientos al público en general a través de las TIC, es por esto que el sistema combina la implementación mencionada con la tecnología de Google Maps para que los resultados se vean plasmados en mapas de la ciudad de México.

4.2.1. Estado Inicial

A continuación se muestra una imagen (Figura 4. 4) correspondiente a una sección de la Ciudad de México. En dicha imagen se muestran con iconos de color verde puntos que corresponden a establecimientos de venta de abarrotes reales distribuidos a dentro de la ciudad. El icono azul corresponde al centro de distribución. Cada icono es en realidad una liga a otra página que muestra la dirección del establecimiento, así como el nivel actual de inventario (para un producto) y la fotografía del establecimiento (Figura 4. 5). En el caso del centro de distribución se muestran los datos de los vehículos que serán empleados en la distribución

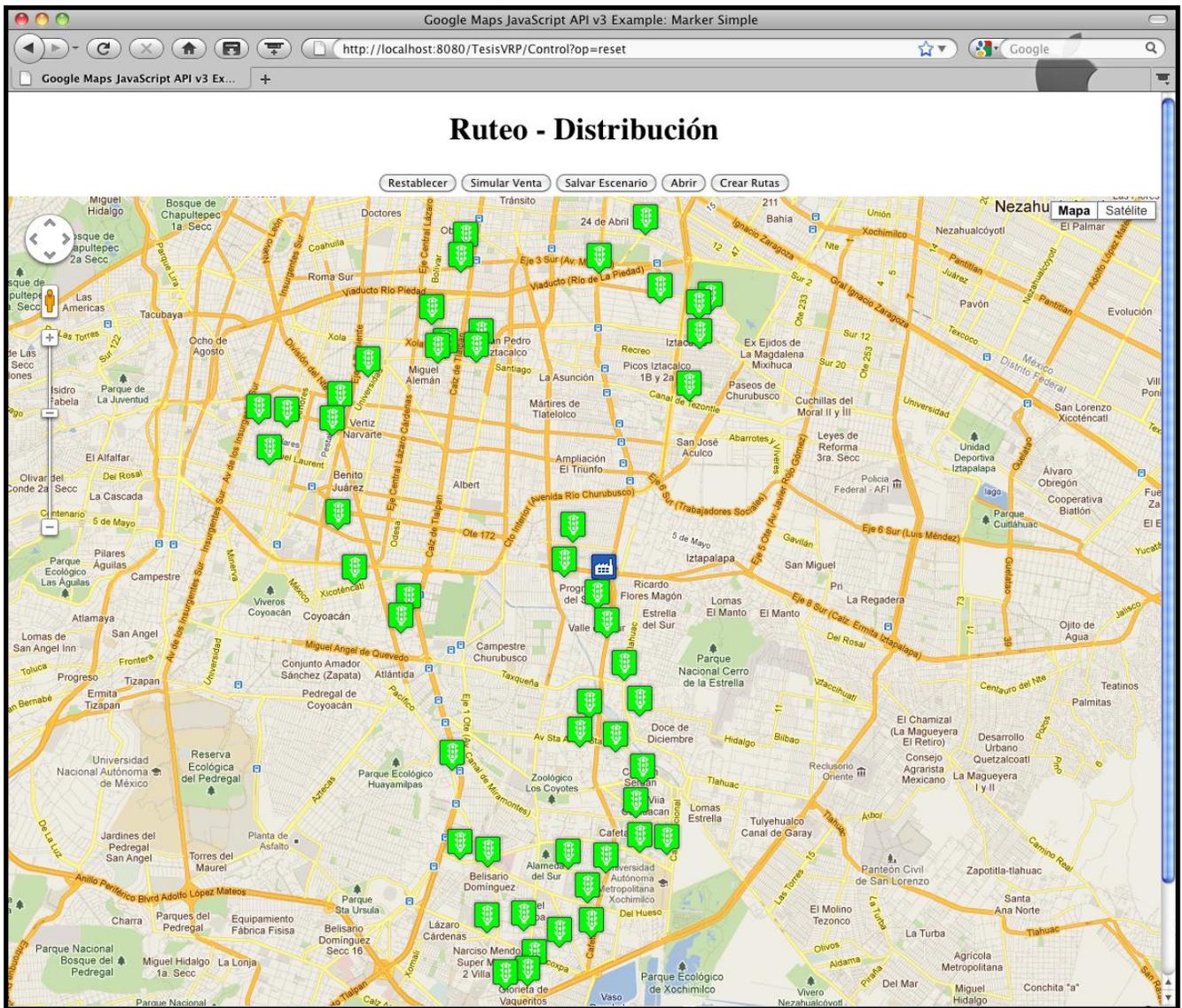


Figura 4. 4. Establecimientos distribuidos en una sección de la Ciudad de México. Elaboración propia usando el API de Google Maps.



Figura 4. 5. Ejemplo de establecimiento. Elaboración propia usando Google Street View.

4.2.2. Simulación de Ventas

Las siguientes imágenes son el resultado de una simulación de las ventas de cada establecimiento y de cómo se vinculan los componentes de ruteo con los recursos provistos por la Internet, en este caso el API de Google Maps. Los supuestos para la simulación son los siguientes:

- Todos los establecimientos tienen un nivel de inventario mínimo de 5 unidades.
- Todos los establecimientos tienen un nivel de inventario máximo de 10 unidades.
- Al inicio de la simulación todos los establecimientos están en su nivel máximo.
- Cada vez que se realiza simula una venta, se resta al inventario de cada establecimiento una cantidad aleatoria del producto
- Al llegar al nivel mínimo de inventario el icono del establecimiento cambia a amarillo
- En caso de que el nivel de inventario llegue a cero el icono se mostrara en rojo.

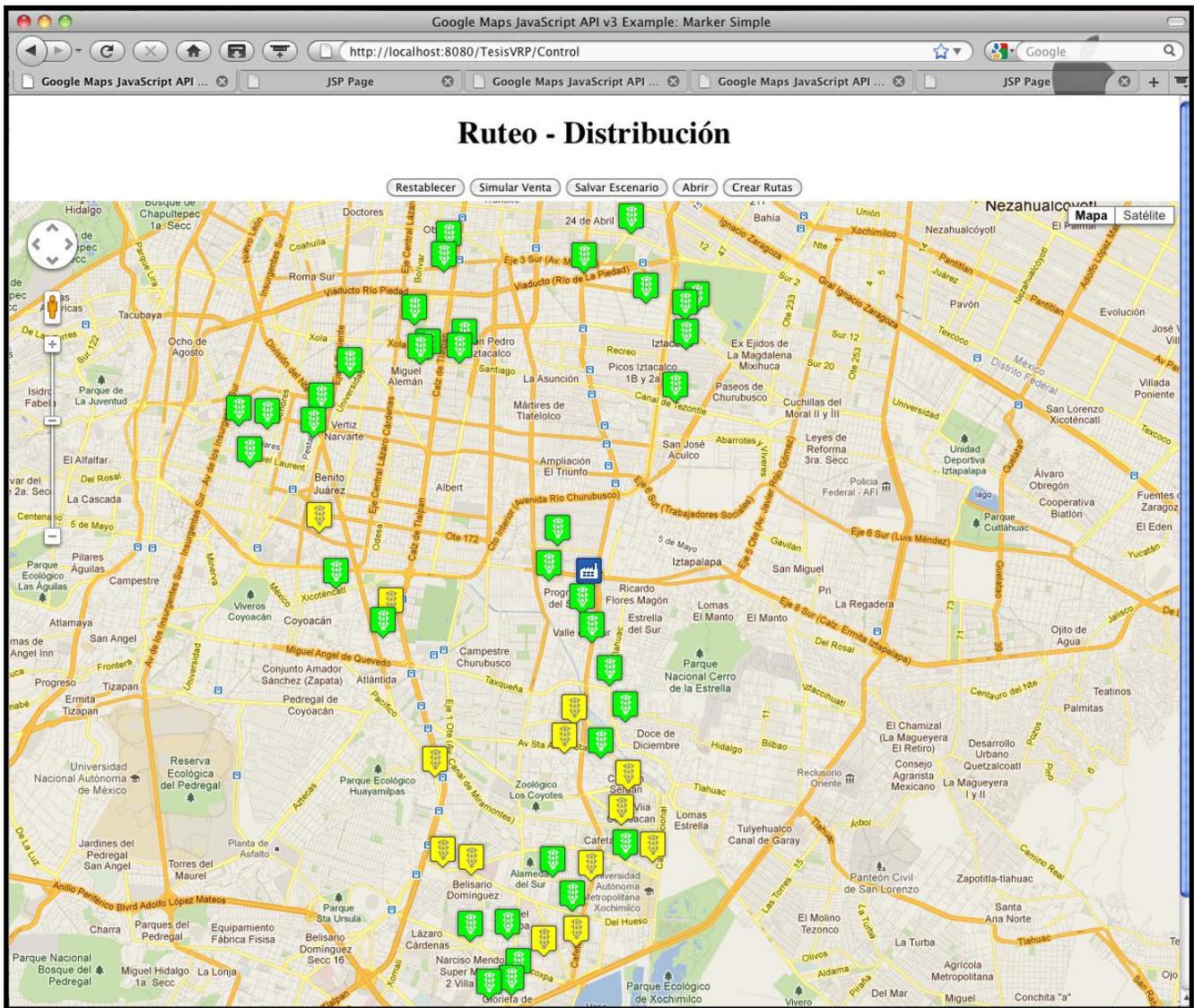


Figura 4. 6. Resultado de dos periodos de simulación de venta.

En la figura 4. 6 se muestra el resultado de dos periodos de simulación de venta. Como se puede apreciar algunos de los iconos cambian a amarillo, lo que indica que están por debajo del nivel mínimo de inventario recomendado, por lo que recomendado abastecerlos.

Si se sigue la liga de cualquiera de los establecimientos se puede apreciar que el nivel de inventario ha cambiado (Figura 4. 7).



Figura 4. 7. Ejemplo del establecimiento después de simular ventas (cambia el nivel de inventario).

4.2.3 Generación de Rutas

Una vez que el usuario lo solicita, se generan las rutas necesarias para satisfacer la demanda de los establecimientos cuyo nivel de inventario está por debajo del mínimo recomendado. En este caso se crearon dos rutas. Figura 4. 8.

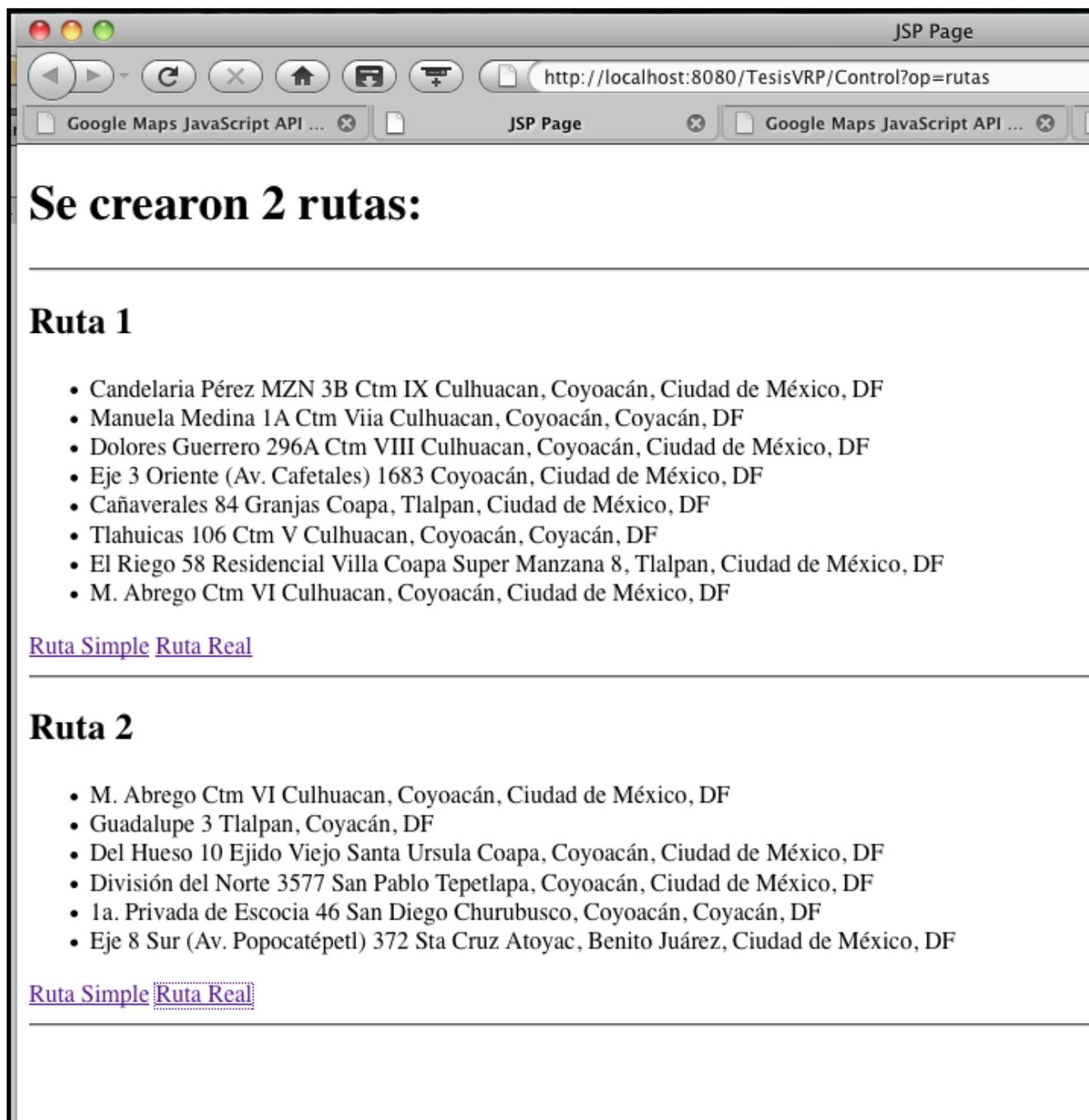


Figura 4. 8. Rutas creadas después de simular dos periodos de venta.

Como es de esperar, si se continúan simulando periodos de venta, el número de establecimientos con nivel de inventario menor al mínimo recomendado aumenta. Figura 4. 9.

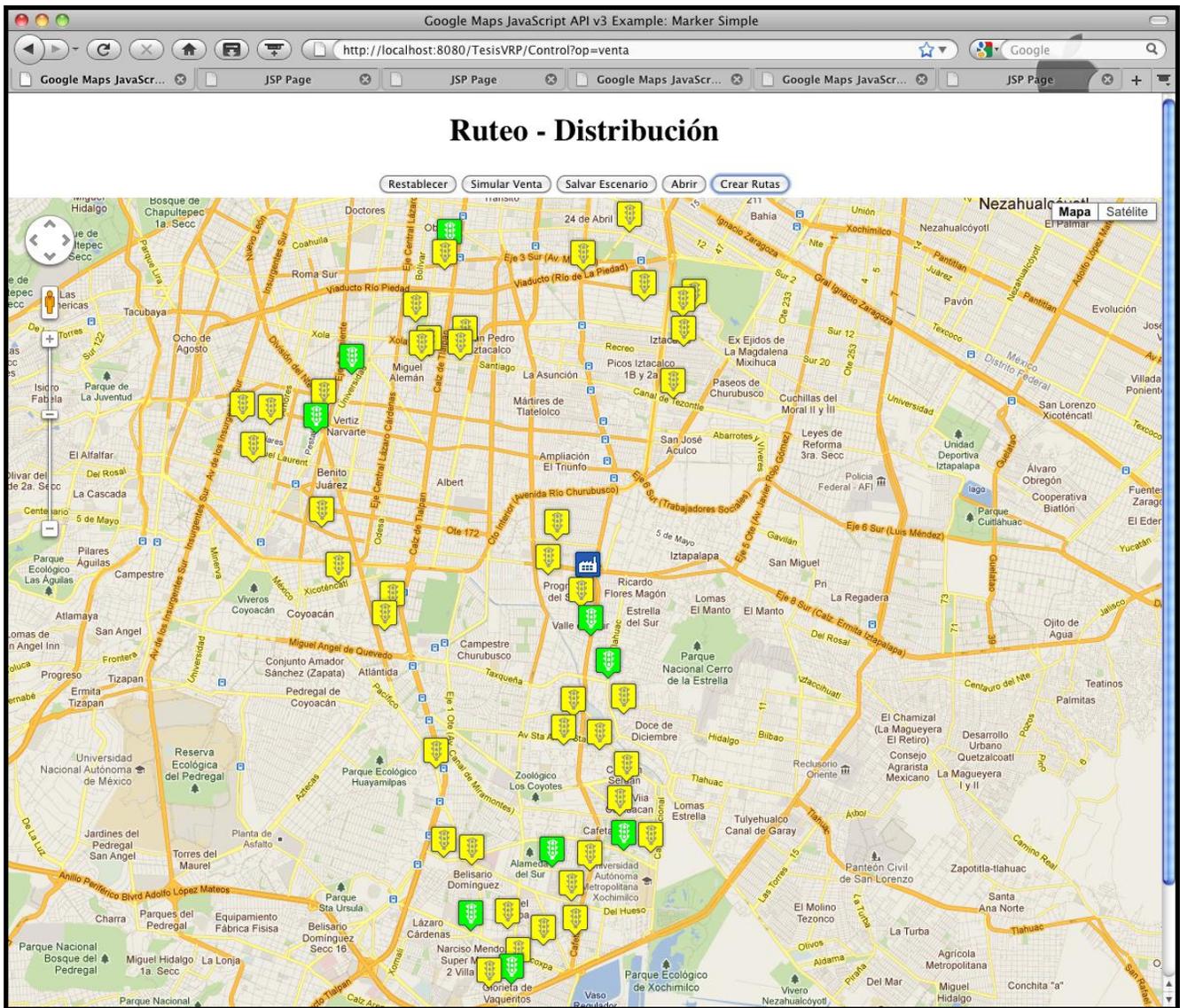


Figura 4. 9. Se muestra el resultado de simular cuatro periodos de venta

Si se solicita que se creen las rutas para este estado del sistema, el resultado son siete rutas. Figura 4. 10.

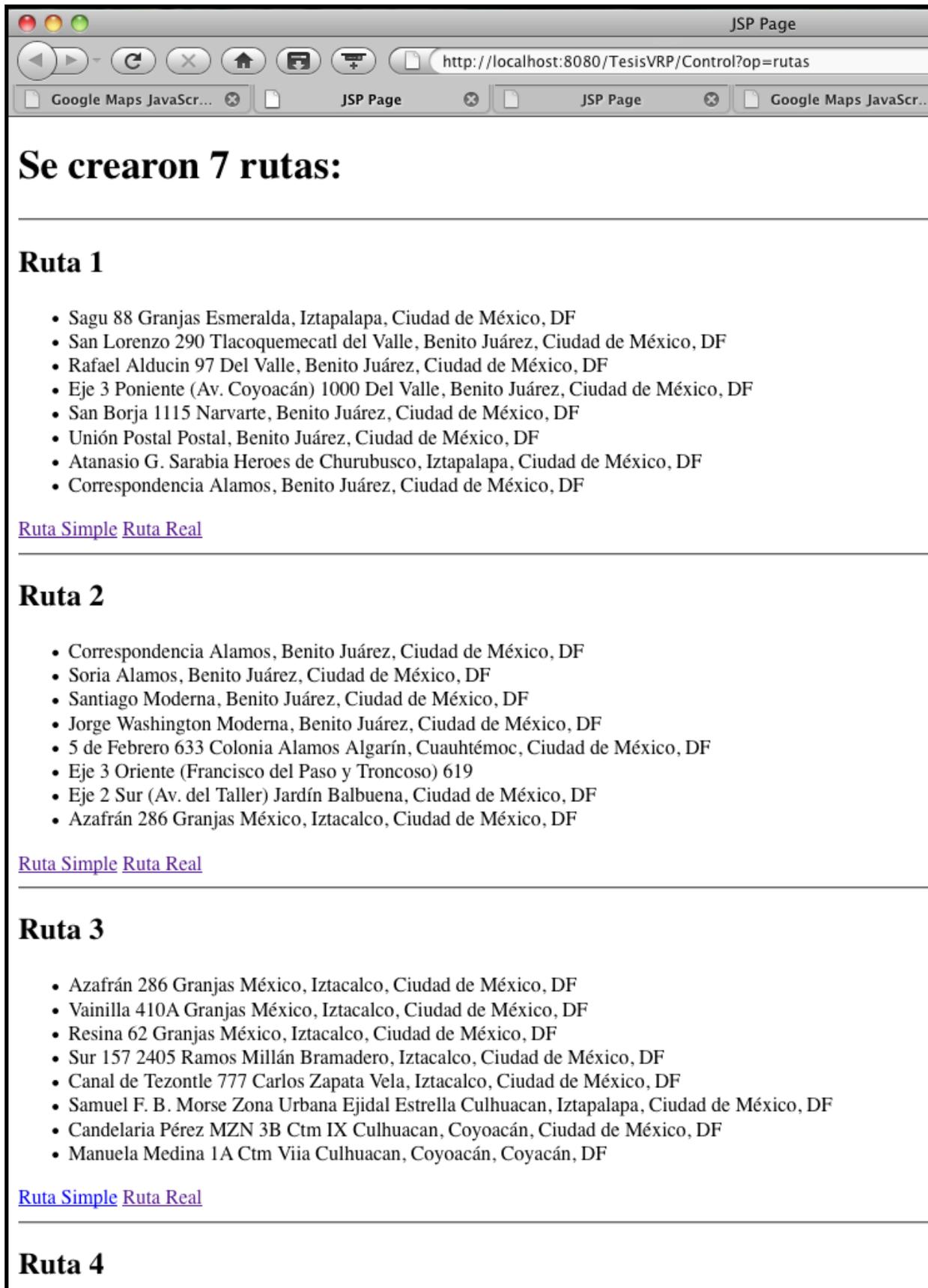


Figura 4. 10. Rutas creadas después de simular cuatro periodos de venta.

Naturalmente, al crearse una ruta se espera que se pueda ver en un mapa. En la implementación del algoritmo de Descomposición Cruzada Separable, se toma la posición geográfica (latitud, longitud) para poder calcular la matriz de costos a partir de la línea recta entre dos puntos. La Figura 4. 11 muestra una ruta calculada a través de dicha implementación.

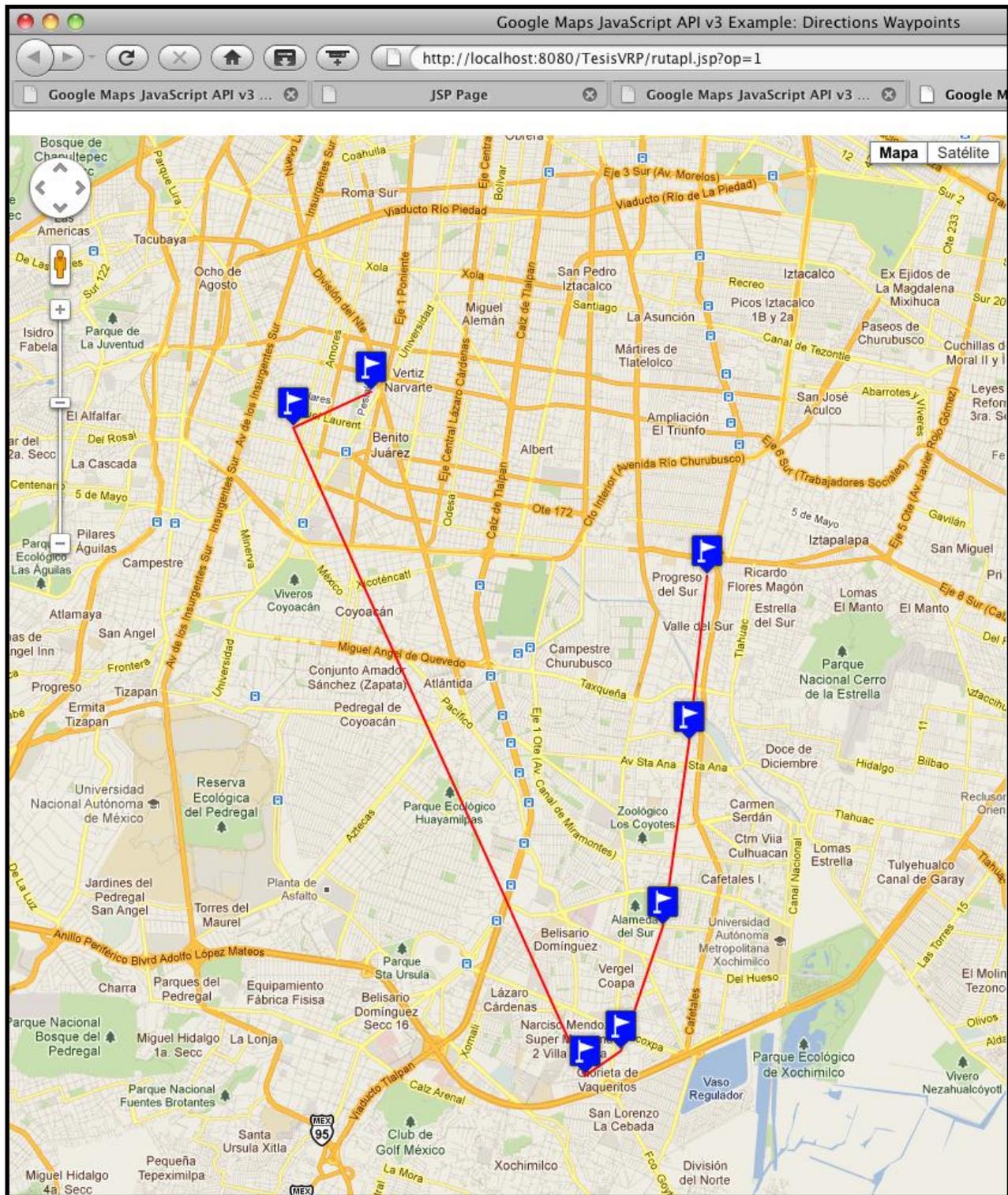


Figura 4. 11 Ruta generada a partir de la implementación del algoritmo de Descomposición Cruzada Separable

Una vez que el sistema ha definido la ruta a seguir se aprecia un problema, el distribuidor no puede ir en línea recta de un punto al siguiente, sino que debe de atender elementos como calles, su sentido, y si son principales o secundarias. Aquí el API de Google Maps vuelve a ser útil pues no solo se muestran los puntos en el plano, sino que tiene la capacidad de sugerir una ruta real entre ambos puntos. Figura 4. 12.

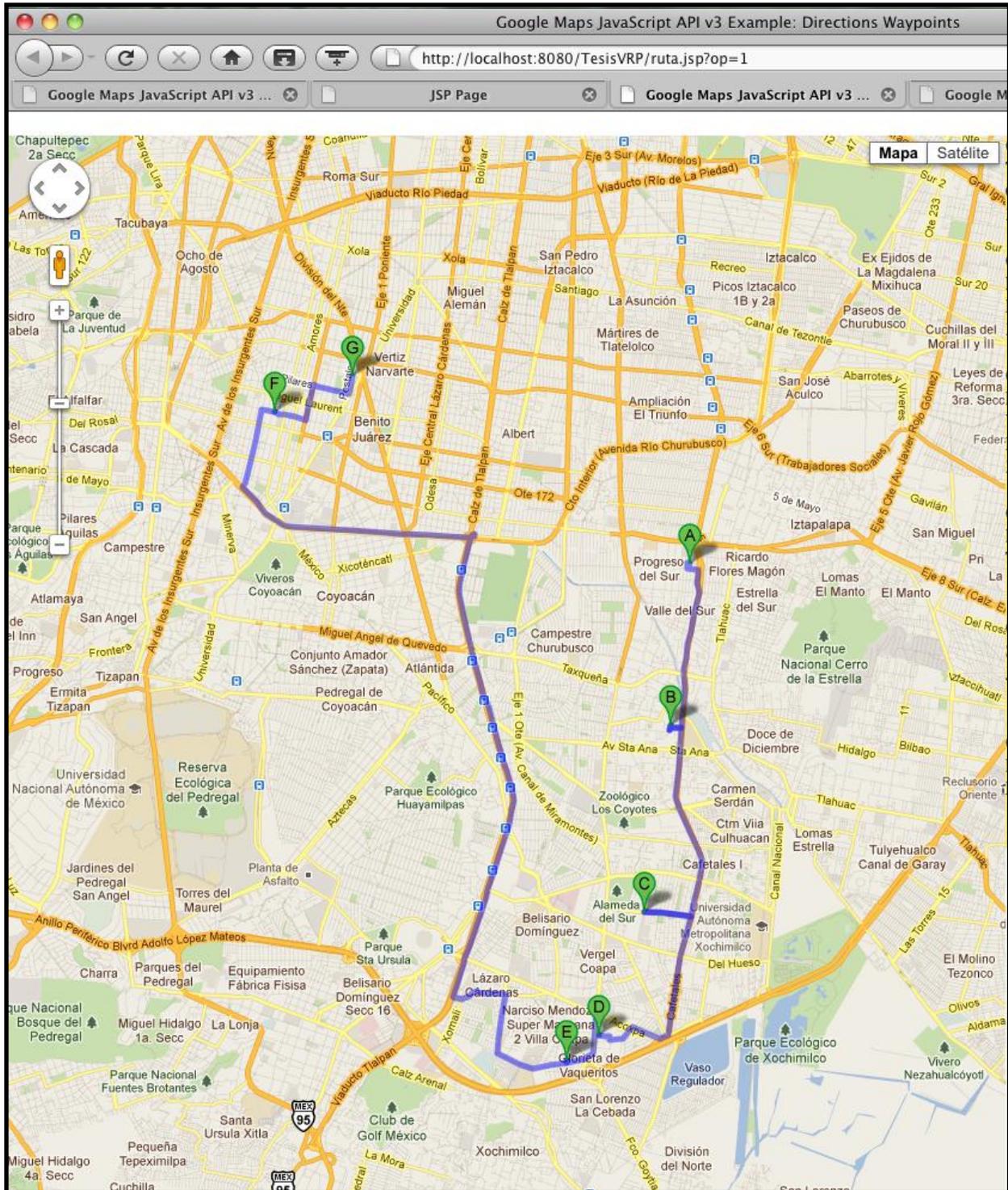


Figura 4. 162 Ruta Sugerida usando el API de Google Maps

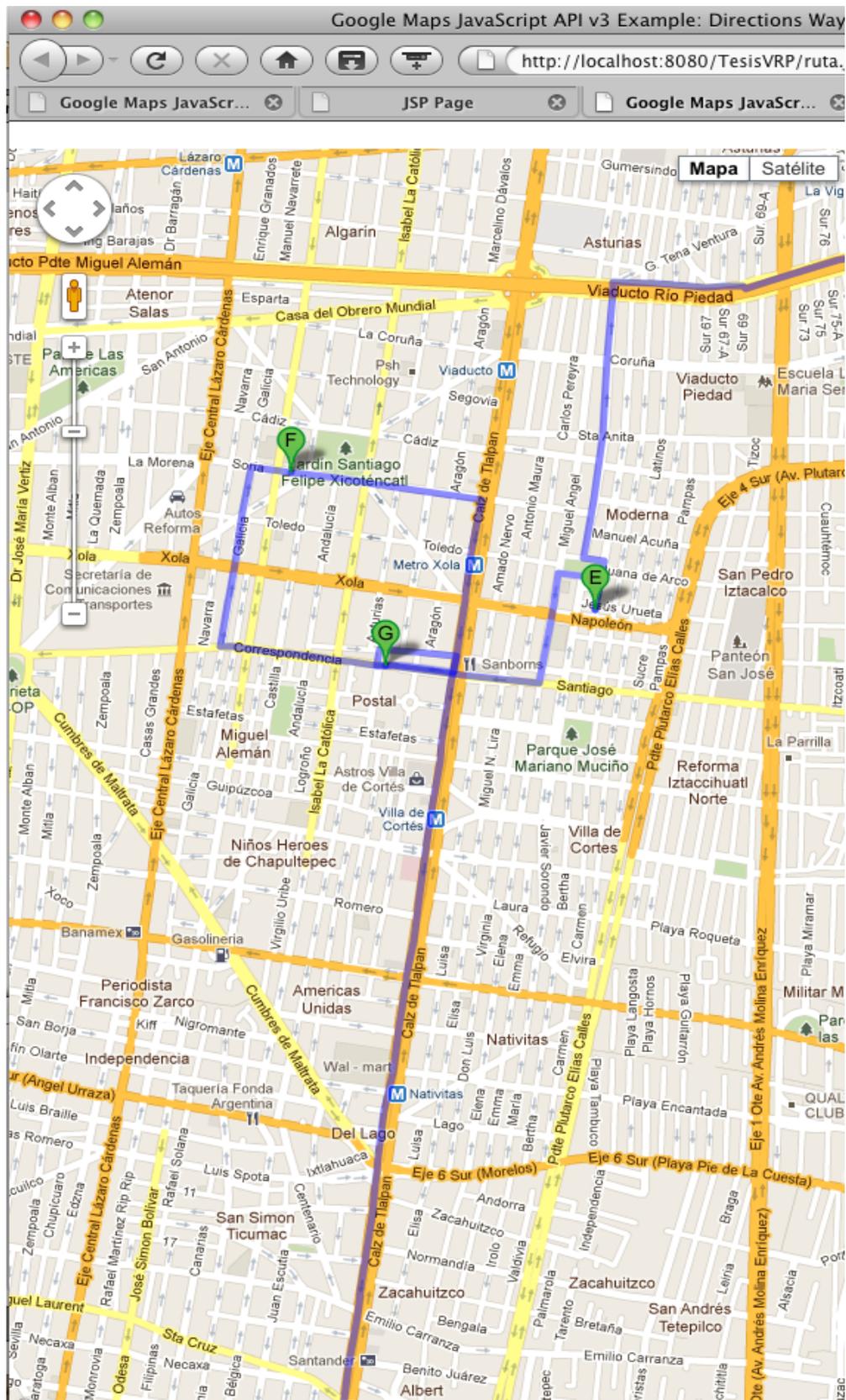


Figura 4. 14. Al usar calles se generan cruces en la ruta.

Dentro de los resultados obtenidos se encontró una limitante por parte del API de Google Maps, ya que las rutas no pueden tener más de diez nodos incluidos el punto de origen y el destino final. También se observó que las rutas propuestas dan preferencia a las avenidas principales y en algunos casos el orden de la ruta se ajustó con respecto al sentido de las calles.

En el caso del límite en el número de nodos, una solución sencilla sería presentar la ruta en secciones con el fin de seguir aprovechando los recursos provistos por Google. Una opción más compleja sería hacer una composición de imagen, naturalmente perderían las ventajas que presentan los mapas interactivos.

A pesar de estas limitantes, los resultados muestran que integrar las Tecnologías de la Información y la Comunicación a problemas de Investigación de Operaciones es relativamente sencillo. Las líneas de código que son necesarias para integrar los mapas provistos por Google son menos de cien para todas las páginas que despliega el sistema, en contraparte del enorme potencial de esta tecnología.

Capítulo 5 Observaciones y sugerencias

Considerando el sistema desarrollado la tarea de integrar las Tecnologías de la Información y la Comunicación con las estrategias de Optimización Logística es una labor relativamente sencilla, aunque naturalmente requiere de un grado de especialización avanzado para que resulte sencillo hacerlo. Sin embargo, una vez realizado, la distribución y réplica de sistema es realmente simple.

5. 1. Observaciones sobre el modelo de optimización

En cuanto a la implementación de la estrategia de Descomposición Cruzada Separable, se observó que el orden en el que se ingresan los datos de los clientes afecta el desempeño del sistema. Por lo que la implementación considera primero ordenar los datos antes de procesarlos.

Dado que las posiciones de los clientes en el mapa se manejan mediante latitud y longitud, es necesario considerar que las variables que se ingresan al sistema son de punto flotante, es decir, no son enteras. Para la fase de distribución el algoritmo *Dos Optimal Prim* tendió a no concluir dados los valores de las variables de costo. Por éste motivo se hizo una adecuación que permite trabajar con variables de flotantes como si se tratasen de variables enteras, lo que logró la conclusión satisfactoria del proceso.

Cuando se realiza la distribución existe la posibilidad de que un vehículo visite sólo a uno o dos clientes. Lo que probablemente no sea lo óptimo. Es posible que la solución óptima al problema sea esperar un periodo para reunir más clientes y hacer una nueva distribución.

La observación más importante respecto al modelo, es que cumplir el supuesto de conocer la demanda de cada cliente al momento de iniciar la estrategia es completamente factible mediante el uso de Tecnologías de la Información y la Comunicación.

5. 2. Observaciones sobre tecnología.

Con base en los resultados, se observó que Google Maps no sólo permite observar la posición de un cliente en el mapa. Además es lo suficientemente flexible para integrar información adicional a través de iconos, etiquetas y desde luego el despliegue de rutas tomando en cuenta el sentido de las calles.

Sin embargo, uno de los límites encontrados es que las rutas no pueden mostrar más de diez nodos y que a pesar de su constante actualización, las calles de rutas generadas pueden estar bloqueadas por razones diversas (obras), por lo que la ruta señalada no sería factible.

Otra observación interesante, es el hecho de que se puede emplear la dirección (calle, número, colonia, población) para determinar la posición dentro del mapa, lo que puede facilitar la recolección de datos de entrada. Sin embargo, esto no es completamente confiable, por lo que es necesario que se verifiquen los datos de cada cliente antes de procesarlos.

Igualmente, se observó que cuando se generan las rutas en Google Maps, no sólo se muestra la ruta en el mapa, también es posible extraer la distancia entre nodos consecutivos tomando en cuenta las calles por las que pasa la ruta. La forma en la que se extrae esta información puede servir para modificar el sistema, de tal manera que la matriz de costos se obtenga a partir del servicio de Google.

En este momento no se encuentra disponible en México, pero el servicio de Google Maps también incluye variantes como tipo de transporte (auto, bicicleta o a pie), el uso de transporte público, así como las condiciones de tráfico. Este tipo de información puede ser útil en caso de querer implementar otras estrategias de optimización Logística. Naturalmente, esta información eventualmente estará disponible en México.

Es importante señalar que a pesar de toda la información que provee el servicio de Google Maps, se trata de un tercero, por lo que la actualización de la información así como su disponibilidad no siempre está garantizada. Esto hay que tomarlo en cuenta si se desea resaltar la confiabilidad del sistema. Además, si se desarrolla un sistema comercial es necesario pagar a Google por el uso de su servicio.

Adicionalmente, las capacidades que tienen los teléfonos celulares crecen continuamente. Actualmente ,muchos permiten conocer la posición geográfica en la que se encuentran, por lo que es posible considerar otro tipo de estrategias de optimización Logística que tomen en cuenta la ubicación y cantidad de producto de los vehículos de reparto ya iniciada la distribución.

5. 3. Estrategias sugeridas para desarrollar un Sistema Comercial

Naturalmente, el sistema desarrollado es sólo una simulación. Para llevarlo a producción se podría hacer uso de un distribuidor de gran tamaño (Coca-Cola, Bardahl, Bimbo, etc.), el cual pueda absorber los costos de crear el software así como de distribuir tanto copias para sus diversos clientes como de terminales (hardware) si es necesario (de manera similar a la que un distribuidor de refrescos lo hace con refrigeradores). Finalmente, se esperaría que estos gastos sean amortizados a lo largo del tiempo tanto por las ventas a los clientes como por los beneficios de la optimización del problema de inventario - distribución.

El principal problema que se encuentra en este esquema, es lidiar con la necesidad de estar conectado a la Internet durante al menos un momento en el día para poder actualizar las órdenes de compra. Este gasto sería absorbido principalmente por el cliente, aquí cabe destacar que la tendencia de tener una conexión a Internet es cada día más común.

Otro posible distribuidor tanto para el software como para el hardware podría ser Telmex. Dada su capacidad para las telecomunicaciones así como poder de venta, Teléfonos de México podría plantear un paquete similar a los que ya tiene para negocios, pero incorporando soluciones para el manejo de inventario, así como para la solicitud de pedidos. Asimismo, podría ayudar a coordinar o encontrar tanto proveedores como clientes, de manera similar a como funciona la Sección Amarilla, sólo que dichos clientes y proveedores tendrían como característica su fácil incorporación al modelo de cómputo.

En los últimos años, la forma en la que se distribuye el software ha cambiado notablemente. En el mercado de aplicaciones para los dispositivos móviles como los teléfonos inteligentes y más recientemente las llamadas “tabletas digitales”, se puede encontrar una gran cantidad de software gratuito, cosa inimaginable apenas unos cuantos años atrás. Uno de los factores que permiten el desarrollo de este software es que integran publicidad a él. Viéndolo del lado positivo, esto podría ser bueno para los clientes ya que la publicidad podría estar diseñada específicamente para ellos.

Otro posible patrocinador podría ser el gobierno, la idea central es naturalmente la optimización ya que uno de los papeles del gobierno es el de ayudar a las empresas para mejorar tanto la economía del país

tanto para las empresas como para la población. Además de que fomentaría el uso de nuevas tecnologías que es uno de los factores clave para el desarrollo de cualquier país.

Otro de los elementos que serían de interés para el gobierno respecto al modelo es la escalabilidad del sistema, ya que la información que viaja en él puede ser monitoreada y almacenada para, en el largo plazo, tener un mejor control de los impuestos (reduciendo la evasión fiscal) así como del comportamiento “real” o al menos una mejor aproximación de algunos ramos del sector comercio.

Naturalmente, muchos de los distribuidores y de los clientes pueden sentirse intimidados al saber que el gobierno es capaz de monitorear sus actividades con bastante facilidad. Una posible solución sería crear un esquema de reducción de impuestos para quien use el sistema, aunque en el peor de los casos, el gobierno también tiene la capacidad de dictar normas para las transacciones comerciales (como sucede en las facturas) y por lo tanto incluir esas normas en los sistemas de cómputo. En el capítulo tres se aprecia que el modelo puede adaptarse a sistemas ya existentes por lo que no se estaría forzando un cambio de sistema sino una adaptación.

Tanto para una gran empresa como para el caso del gobierno, los clientes pueden sentir temor al confiar sus datos tanto al gobierno como a una corporación. Sin embargo, dichos clientes no pueden eludir el hecho de competir contra los grandes minoristas (Walmart, Refaccionarías California, Office Depot, etc.) que por sus volúmenes de compra obtienen mejores precios para ellos y por consecuencia para sus clientes. Por este motivo, la adopción de alguna tecnología que permita mejorar los procesos logísticos debe ser considerada.

5. 4. Consideraciones

Sin importar cual de los escenarios sea el que se realice, existen varias consideraciones que deben ser tomadas en cuenta para el desarrollo e implementación del modelo ya que como se mencionó, el capítulo tres solo muestra un prototipo que ilustra la facilidad de incorporar nuevas tecnologías al problema de inventario - distribución.

5. 4. 1. Limitaciones del modelo de optimización

En el caso del modelo ilustrado en esta tesis, el problema se limita a un solo producto y se asume que se pueden entregar los pedidos en el día (sin importar distancias o capacidad de producción). En un caso real se deben de tomar en cuenta elementos como ventanas de atención, capacidad del proveedor para cubrir la demanda, así como para almacenar producto dentro de sus instalaciones. Además, el modelo planteado calcula la distancia con base en la posición geográfica, en un caso real se debe considerar si existe un camino que enlace las poblaciones, así como el tiempo de recorrido dependiendo de la hora del día o de las características del camino. Y por último se debe considerar que un pedido puede ser de más de un producto.

5. 4. 2. Seguridad

La seguridad se ha convertido en punto clave en cualquier sistema de cómputo, y en particular de aquellos que involucran la transmisión de datos a través de la Internet o cualquier tipo de enlace público.

Si bien por la forma en que se transmiten los datos el sistema es muy seguro en cuanto a la propagación de virus, existen otro tipo de ataques que pueden vulnerar el sistema. Por ejemplo, se puede enviar a la computadora encargada de generar las zonas y rutas una gran cantidad de datos buscando la saturación de la misma. En un mundo que depende de la confiabilidad de las computadoras, este tipo de ataques pueden causar grandes daños.

Asimismo, dado que los datos viajan a través de la red, estos pueden ser monitoreados por lo que lo más recomendable es que viajen cifrados y el que el uso del sistema esté restringido de tal manera de que solo los involucrados puedan hacer uso de él. Esto es particularmente importante si al sistema se le agregan componentes que permiten la transacción electrónica de dinero.

Sin importar cual sea el escenario, el modelo supone que los clientes tienen sus propios sistemas o bien que si se le entrega un sistema para la el control de sus productos, dichos productos pueden ser de múltiples proveedores y a menos que se estipule lo contrario, el sistema no debe permitir que un proveedor vea los datos de los productos de sus competidores. También es importante investigar si existen cuestiones legales que puedan limitar el alcance del sistema.

5. 4. 3. Desarrollo y capacidad de integración con otros sistemas

Como se puede apreciar por los puntos anteriores, el sistema propuesto debe contar con otros módulos que permitan lidiar con los problemas mencionados. Esto naturalmente repercute en el desarrollo del sistema tanto en tiempo, alcance y consecuentemente en costo. A esto se debe sumar que si los proveedores o los clientes ya cuentan con un sistema, el nuevo debe de adecuarse al ya existente y no remplazarlo (a menos que resulte más económico).

Asimismo, se debe considerar que el sistema compartirá información con otros sistemas, por lo que debe ser desarrollado de tal manera que facilite la integración con ellos.

5. 4. 4. Mantenimiento, documentación y capacitación

Es muy importante que toda la documentación que sea generada coincida con el desarrollo del sistema, ya que por medio de ésta se facilita el mantenimiento así como la creación de nuevos módulos que permitan complementar, ampliar o modificar sus funciones.

Se debe tomar en cuenta que dependiendo de las características particulares de cada implementación, se requerirá de mantenimiento tanto para el software como para el hardware.

Uno de los objetivos que deben ser parte de cualquier desarrollo es que el sistema resultante sea fácil de usar, ya que en caso contrario el sistema simplemente no se utilizará. Bajo el supuesto de que este objetivo se cumple y el sistema es fácil e intuitivo para el usuario, esto no implica que basta con instalarlo y comenzar a usarlo, es necesario capacitar a los usuarios, lo cual naturalmente representa un costo.

Si bien el objetivo principal del sistema es la automatización de procesos, se debe tener cuidado de no abusar de ello. Se deben de controlar las decisiones que realiza la máquina con el fin de validar éstas y evitar posibles problemas (pedidos que el cliente no desee o pueda cubrir, rutas que no sean posibles de cumplir por situaciones que impidan el paso en los caminos, etc.).

También es importante tomar en cuenta el respaldo de la información, ya que si bien esto se puede hacer de forma automática. Es conveniente que los usuarios creen sus propios respaldos en dispositivos físicos ajenos al sistema con el fin de evitar la pérdida de información.

5. 4. 5. Servicios Web.

Como se mostró en el sistema, no es necesario crear todos sus componentes. De igual forma, es posible que los sistemas que se desarrollen no sean sistemas completos, sino que se trate de servicios distribuidos a través de la Internet (Chappell, 2002) y que implementen estrategias de optimización Logística. De esta manera si una compañía desarrolla un sistema, podría hacer uso del servicio, e inclusive seleccionar la estrategia de optimización que mejor se adapte a sus necesidades en el caso de proveer varias estrategias.

Aunque estos servicios son también una opción para difundir el conocimiento, no cumplen con uno de los objetivos de esta tesis, que es llevar el tanto el conocimiento como sus beneficios a personas que no tengan conocimientos especializados pero requieran de estrategias de optimización. Para hacer uso de servicios Web, el nivel de preparación de los desarrolladores debe de ser avanzado.

Conclusiones

Inicialmente, el proyecto de tesis surgió de la solicitud de crear un programa de cómputo que implementara la estrategia de Descomposición Cruzada Separable el cual permite solucionar problemas de Distribución y Reparto. Naturalmente, para poder crear el programa fue necesario contar tanto con conocimientos sólidos en programación (en especial para sortear los problemas que surgen al realizar operaciones de punto flotante), así como conocimientos de logística para poder comprender el problema de Distribución y Reparto.

Al comenzar a estudiar la estrategia de Descomposición Cruzada Separable y analizar su uso dentro de las empresas que encaran el problema de Distribución y Reparto se observó una premisa particularmente interesante. La premisa es que son los distribuidores los que determinan el momento para reabastecer a sus clientes, esta decisión se toma a partir del nivel de inventario que cada cliente tiene. Para lograr esto, se asume el uso de dispositivos de Intercambio Electrónico de Datos, EDI, que permitan conocer la cantidad de producto que tiene un cliente en tiempo real.

Actualmente, los dispositivos móviles como los teléfonos celulares cuentan con la capacidad, aún los más modestos, de realizar las tareas de los dispositivos EDI. Es a partir de aquí que surge la pregunta: ¿En realidad son necesarios los dispositivos EDI para conocer los niveles de inventario? ¿Es posible reemplazar dispositivos especializados por dispositivos de comunicación que en realidad se han convertido en dispositivos de uso genéricos?

Por otro lado, la creación del programa que implementará la estrategia de Descomposición Cruzada Separable se planteaba originalmente como un software para “especialistas”. De manera similar al planteamiento de si es posible aprovechar las tecnologías actuales para reemplazar dispositivos especializados por genéricos, surgió la pregunta que es base de esta tesis. ¿Es posible que mediante el uso de las Tecnologías de Información y la Comunicación se pueda difundir el uso de conocimientos especializados a personas que no necesariamente están capacitadas?

A partir de esto se replanteó el crear un programa que implemente la estrategia de Descomposición Cruzada Separable, por un sistema que encapsule la estrategia y permita ilustrar como las Tecnologías de la Información y la Comunicación pueden difundir el uso de estrategias logísticas a usuarios no especializados.

Con este sistema en mente, se dio inicio a la investigación que diera sustento y justificación al sistema. La investigación contempló la situación Logística del país, la relación que existe entre las Tecnologías de la Información y la Comunicación con la Logística, así como el estado en que se encuentra el país en materia de telecomunicaciones. Como resultado de la investigación se obtuvieron las siguientes conclusiones.

En materia Logística México ha avanzado considerablemente en la última década, sumado esto a su posición geográfica lo coloca como un gran competidor a nivel global, sin embargo sus costos logísticos pueden ser reducidos aún más, por lo que la inversión en Logística aún tiene muchos beneficios que esperan ser explotados para el mejoramiento del país.

En lo referente a la relación entre la Logística y las Tecnologías de la Información y la Comunicación, su desarrollo ha sido paralelo al grado tal de en la actualidad es imposible pensar en realizar tareas logísticas sin la presencia de las Tecnologías de la Información y la Comunicación. De hecho el uso de

estas tecnologías no se debe ver como una opción sino como una obligación, y no sólo porque facilitan las tareas logísticas sino porque agregan valor a la cadena de producción. Este valor agregado permite entre otras cosas proveer de una información más confiable y oportuna a otras áreas de la empresa (contabilidad, planeación, ventas, etc.) para que tomen mejores decisiones.

La idea de que las Tecnologías de la Información y la Comunicación son parte obligatoria de la labor Logística tampoco surge de los beneficios al interior de la empresa. En realidad el concepto obligatorio viene de que si se ignora la tecnología, puede llevar a la desaparición de la empresa. La tecnología no sólo crea puentes al interior de las áreas de una empresa, crea canales de comunicación entre proveedores y clientes, esto es ya un valor agregado importante, a grado tal que si existen dos posibles proveedores para un cliente y uno de ellos no cuenta con Tecnologías de Información, el cliente puede decidir tomar al segundo proveedor por las ventajas que este puede ofrecerle (confiabilidad en la entrega, facturación automática, trazabilidad de los productos, catálogos actualizados, etc.). También es importante señalar que estas ventajas de valor agregado pueden ser más importantes que el precio del producto, lo cual es importante si consideramos que México compite con otros países en los que un menor costo de producción es su mayor atractivo.

Por otra parte, la situación que existe en México en materia de Telecomunicaciones muestra que sólo una tercera parte de la población tiene acceso a Internet, sin embargo, en lo que se refiere a telefonía celular, su alcance llega prácticamente a toda la población. Y si se toma en cuenta los teléfonos celulares han dejado de ser dispositivos para la comunicación de voz, sino que se han convertido en verdaderas mini terminales móviles con capacidades en aumento constante, es evidente concluir que el país cuenta ya con una infraestructura para el intercambio de información, la cual se encuentra desaprovechada.

La existencia de esta infraestructura para el intercambio de información es muy importante, ya que para las empresas mexicanas (en su mayoría PyMEs) ven a las Tecnologías de la Información y la Información con reserva, ya que si bien existen beneficios obvios al adoptar las tecnologías, eso no evita que para muchas empresas la integración sea vista más como un costo que como una inversión. Así que el contar con ya con una infraestructura de comunicación facilita la adopción de las tecnologías.

A pesar de existir la infraestructura de telecomunicación, existe otro problema que limita la adopción de las Tecnologías de la Información en las empresas mexicanas, la capacitación. Cuando se crea un sistema, se debe tomar en cuenta que los usuarios deben aprender a manejarlo y, dependiendo del rol que tengan como usuarios del sistema, la capacitación se puede convertir en una tarea muy complicada. Es por este motivo que al desarrollar un sistema, este debería actuar a manera de caja negra de tal manera que los usuarios encuentren soluciones a sus problemas sin saber cómo es que esas soluciones fueron encontradas.

Es entonces a partir de la falta de capacitación entre los posibles usuarios que se justifica el desarrollo de la tesis. El sistema desarrollado debe aportar una solución viable al problema de Distribución - Repartición sin la necesidad de que el usuario conozca alguna estrategia logística.

Durante el desarrollo del sistema, el planteamiento original era el simular una serie de puntos de venta los cuales serían abastecidos por un sólo proveedor, de tal manera que se le indicara a cada cliente su nivel de inventario. Sin embargo, al momento de iniciar las primeras pruebas se encontró que el realizar una venta en cada cliente es una tarea tediosa si sólo se pretende ilustrar una solución al problema de Distribución - Repartición. De ahí, el sistema se replanteó para ser usado de forma totalmente académica

(ilustrativa) y se creó un módulo que se encargase de realizar las ventas de cada cliente con cantidades aleatorias. De esta forma, con cada iteración que realice el usuario se pueden observar distintos estados para el problema de Distribución - Repartición, y por consecuente distintos resultados. Asimismo, el sistema contempla guardar el estado de un problema por si se desea analizar posteriormente.

Con los resultados obtenidos por el sistema, se puede concluir que se alcanzó el objetivo de difundir estrategias de Optimización Logística a personas no especializadas en el área mediante el uso de Tecnologías de la Información y la Comunicación. Esto debido a que las respuestas que otorga el sistema son bastante claras. Sin embargo, el llevar el sistema a una siguiente fase donde se utilicen datos y dispositivos reales requiere de más recursos, sin mencionar que la complejidad del problema crece considerablemente.

Al observar las limitaciones que tiene el sistema, la conclusión que surge para pasar al siguiente nivel el cual debería ser capaz de distribuirse precisamente entre usuarios no especializados para que sean ellos quienes lo evalúen y retroalimenten para mejorarlo. Para poder hacer esto es necesario considerar no sólo el problema de Distribución - Repartición, sino el papel que este juega en toda la cadena de suministros, de tal manera de que la información que alimenta al sistema así como la que produce pueda ser empleada (o generada) por otros módulos de la cadena. Por ejemplo, para que un usuario (un cliente) le sea atractivo experimentar con el sistema, el módulo que informa al proveedor en nivel de inventario del cliente debería ser parte del sistema que cliente use para controlar sus ventas.

Como se puede apreciar en el capítulo 2, las tareas que se realizan a lo largo de la cadena de suministros son muchas y muy variadas. Al tomar en cuenta esta observación, el pensar en hacer un sistema que abarque todo es una tarea colosal. Si se desea afrontar este reto se sugieren dos enfoques para encarar un nuevo desarrollo.

El primero sería el enfoque académico, en el cual el primer paso sería diseñar los módulos que comprenden la cadena de suministros desde el productor hasta el cliente final, de tal forma que el principal objetivo en la parte de diseño sería definir el protocolo de comunicación entre módulos para eventualmente tener un producto que sea atractivo para su distribución

El segundo sería el enfoque comercial, aquí la idea de desarrollar desde cero los módulos del sistema pierde sentido (Lambert, 1998), lo ideal sería adquirir un producto (o varios) que se haga cargo de las tareas logísticas, y desarrollar una interfaz flexible que pueda adaptarse a las necesidades de los usuarios de tal manera que se preserve la idea de ver la internet como una caja negra que resuelve los problemas y las aplicaciones sólo como pantallas de resultados.

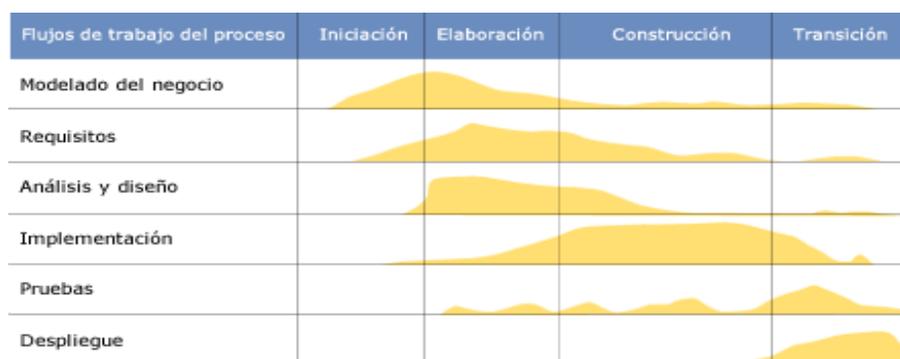
Apéndice A. Guía para implementar una estrategia de optimización usando Tecnologías de la Información y la Comunicación

Al desarrollar un proyecto, uno de los principales retos es la administración del mismo. Naturalmente, los proyectos en los que se genera software no son la excepción y existe una amplia gama de metodologías al respecto tales como PMI, MMI, MOPROSOFT, RUP, entre otros, así como una amplia variedad de herramientas que permiten llevar el control del proyecto. Desafortunadamente, estas metodologías y herramientas requieren de una larga curva de aprendizaje.

Por otro lado, empresas como Apple, Google y Microsoft ponen a disposición de cualquier persona herramientas gratuitas para que desarrollen software, e inclusive que lo vendan. Es importante destacar que cualquiera puede crear software, no es necesario ser ingeniero en computación o licenciado en informática para hacerlo. Basta con contar con conocimientos básicos de programación.

Esta sección tiene como fin exponer experiencias resultantes del desarrollo del sistema creado para esta tesis, así como servir a manera de guía para aquellas personas que no tienen experiencia en el desarrollo de software, pero que desean experimentar dada la facilidad que actualmente se tiene para hacerlo.

Tomando como base el Proceso Racional Unificado¹³ (RUP por sus siglas en inglés), un proyecto de software se desarrolla en cuatro fases: Inicio del Proyecto, Elaboración, Construcción y Transición. A lo largo de cada fase se realizan las siguientes procesos: Modelado del negocio, Requisitos, Análisis y Diseño, Implementación, Pruebas y Despliegue. Los procesos no son exclusivos de una sola fase, sino que se repiten a lo largo de ellas, lo que cambia en cada fase es la cantidad de tiempo que requiere cada proceso. La siguiente imagen muestra un estimado del tiempo dedicado a cada proceso durante cada fase.



Fases del Proceso Racional Unificado (Fuente: IBM)

¹³ El seleccionar la metodología de RUP es debido a su simplicidad, importante debido a que la guía no está enfocada a expertos <http://www-01.ibm.com/software/awdtools/rup/>.

Si se observa la primera fase, se puede apreciar que no todo el tiempo es empleado por los distintos procesos, esto es porque junto con los procesos propios del proyecto, existe un conjunto de tareas de soporte. Estas tareas comprenden el conseguir los espacios de trabajo, los equipos y programas necesarios para poder desarrollar, buscar a los analistas, diseñadores, programadores y encargados de hacer pruebas. Así como establecer los horarios de trabajo, reuniones y forma de comunicarse entre los miembros del equipo. Como se mencionó anteriormente, con las herramientas actuales es posible que una sola persona se haga cargo de todos los procesos. Sin embargo, entre más complejo sea el sistema desarrollado, es recomendable acudir a especialistas para reducir el tiempo de desarrollo.

También es importante señalar que durante el desarrollo del proyecto, en realidad se entra en un ciclo entre las fases de elaboración y construcción (es posible que se tengan integren al ciclo la iniciación y la transición, sin embargo esos son casos excepcionales) como lo muestra la siguiente figura. Un error común al momento de crear software es que los documentos generados en el análisis no reflejan en el producto final. Es prácticamente natural que en la implementación aparezcan elementos que no fueron tomados en cuenta en el análisis, y lo mismo sucederá en la parte de pruebas. Se debe evitar hacer correcciones inmediatas y en su lugar se debe analizar nuevamente ya que los elementos no tomados en cuenta pueden repercutir en otra etapa dentro del sistema.

Modelo de Negocios

Durante la fase de Modelado del Negocio es muy importante conocer todas las posibles variantes que se tendrán en la evolución del software, de tal manera que se tomen en cuenta en la etapa de diseño, ya que de no hacerlo será necesario repetir el proceso. Algunos de los elementos que deben quedar claros desde el inicio son:



Ciclo de vida en el desarrollo de software. Fuente: En línea, Catedrales: El Proceso Unificado de Modelado

Contacto

Es necesario saber ¿Para quién se desarrolla el sistema? ¿Quién es el encargado de decidir qué va a hacer el sistema? ¿Quién conoce los procedimientos que el software automatizará? ¿Quién comprende la estrategia de optimización? ¿Quién dará el visto bueno para aprobar el sistema?

Responsabilidades

Una vez establecido los contactos, lo siguiente es delegar a los responsables de las diferentes tareas que surgen a lo largo de la creación del sistema. Un error común en los equipos de desarrollo es tener juntas de avance a lo largo del proyecto y no documentar los resultados. Por lo que es importante nombrar responsables los cuales se encarguen de poner por escrito los resultados no sólo de las juntas, sino de

las diversas tareas. Cuando se crea un componente de software, ese componente debe encontrarse en la documentación, tanto en los documentos de diseño como en los documentos de desarrollo.

Antecedentes

Se deben establecer los antecedentes, es decir, ¿Qué es lo que hacen los posibles usuarios del sistema? ¿Cuáles son sus tareas? ¿Cuáles son sus problemas al momento de cumplir esas tareas? ¿Existe un procedimiento para realizar su trabajo? No es posible desarrollar un sistema, sino se comprende plenamente los procedimientos que realizan sus usuarios.

Objetivos

Es necesario plantear los objetivos que el sistema debe cumplir, al hacer esto, es necesario acotar el proyecto. Uno de los principales problemas al momento de hacer software es el redefinir constantemente el alcance del proyecto, lo cual trae consigo proyectos que no se concluyen en el tiempo requerido ya que siempre es posible agregar alguna nueva funcionalidad o restricción.

Como se puede ver en capítulo dos, el problema de Inventario - Distribución es sólo una pequeña parte dentro de la cadena de producción, además los componentes desarrollados sólo contemplan un tipo de producto. Si se deseará que el sistema cumpliera con las necesidades que exige el mundo real, el tiempo de desarrollo se extendería demasiado.

Es por esto que los objetivos del proyecto deben de ser claros y concisos. De igual forma se deben establecer también cuáles son los criterios que dirán si el objetivo se cumplió o no. En el sistema desarrollado, los resultados muestran la creación de rutas sobre calles reales haciendo uso de la estrategia de Descomposición Cruzada Separable, y estas rutas están disponibles desde cualquier parte del mundo en donde se tenga una conexión a Internet, además de que no se requiere comprender la estrategia de Descomposición Cruzada Separable para comprender el resultado.

Cuando se definen los objetivos de un sistema, siempre es deseable simplificar y agilizar procesos, así como estandarizar la información que el sistema genere.

Requisitos

Uno de los principales errores al desarrollar software es no tener claro los requerimientos, esto trae como consecuencia desarrollar software que no satisface las necesidades del cliente, lo que trae consigo la necesidad en varios casos de repetir varias etapas del proyecto (sino es que todo, algunas veces es preferible iniciar desde cero). Para obtener los requerimientos es necesario contestar las siguientes preguntas:

¿Qué hace?

En el caso de una estrategia de optimización la respuesta parece sencilla, optimizar. Pero es necesario tener claro qué es optimizar ¿Es minimizar o maximizar? ¿Qué es lo que se optimiza? ¿Es reducir el tiempo? ¿El costo? ¿Ambos? ¿Es aumentar el nivel de producción?

Es necesario saber qué es exactamente lo que se desea optimizar y limitarse a ello, y aunque es posible optimizar más de una variable, el hacer esto aumenta el grado de complejidad del sistema, por lo que se necesitarán más recursos (ya sea en tiempo o personal especializado) para terminarlo.

¿Cómo lo hace?

Qué estrategia de optimización (si es que se emplea alguna) se utiliza actualmente. ¿Cuáles son los pasos a seguir? ¿Qué variables contempla? ¿Qué variables no contempla y por qué? ¿Cuáles son los datos de entrada y cuáles los de salida? ¿Qué pasa si no se cuenta con alguna de las variables de entrada o si sus valores son equivocados?

¿Qué innova?

Cuando se desarrolla un sistema, se debe tener en cuenta si existe un sistema anterior y de ser así, cuales son las aportaciones del nuevo sistema. ¿Es más fácil de usar? ¿Es más rápido? ¿Se puede usar desde un teléfono celular? ¿La curva de aprendizaje para emplearlo es menor? En el caso de esta tesis, la idea es mostrar que un algoritmo propietario (Descomposición Cruzada Separable) se puede integrar y difundir fácilmente mediante el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación a personas que no tienen conocimientos formales de Logística.

¿Cómo lo usan?

Muchas veces, cuando se ha desarrollado un sistema, los usuarios no lo usan y en muchos casos es por desconocimiento. Es importante que los diferentes componentes que se desarrollen sean utilizados, de lo contrario se realizará un esfuerzo incensario.

Aquí, es importante señalar que cuando se cree la interfaz de usuario, está deberá ser lo mas simple posible con el fin de que el usuario se sienta cómodo al emplear el sistema. Una interfaz que permita hacer muchos ajustes podrá ser práctica cuando sus usuarios son especialistas, pero si el usuario no cumple esta característica, lo mejor es presenta una interfaz sencilla.

¿Cómo lo podrían emplear mal?

Siempre hay que tener en cuenta que los usuarios pueden ingresar mal los datos de entrada (no de forma intencional sino por error humano). Es importante que el sistema contemple este tipo de situaciones. Por ejemplo, si se desea que el usuario ingrese una fecha como parámetro, lo mejor es proporcionarle un componente gráfico (un *Date Picker* para este ejemplo) para seleccionar la fecha, a darle un campo de texto en donde el usuario podría poner la fecha en un formato distinto al que se tiene contemplado o bien una fecha inexistente, lo que naturalmente traería resultados erróneos

¿Qué se puede ajustar?

Naturalmente, cuando se tiene un sistema existen variables que se deben poder ajustar. En el caso de una ruta, de nada sirve que indique las calles que hay que seguir si estas están cerradas o su sentido es contrario al que muestra la ruta. Sin embargo, al aumentar el número de variables que se puede ajustar ,la complejidad del sistema crece y por lo tanto crece también el tiempo para desarrollarlo así como su costo. Por lo que si se presenta una situación como ésta, es importante hacer del conocimiento del usuario que el resultado que arroje el sistema es una recomendación y no necesariamente la respuesta correcta.

¿Qué diferencias hay con el sistema anterior?

En caso de existir un sistema previo, muchas veces los usuarios desean conservar funcionalidades que ya no son necesarias. Por ejemplo, el uso de papel para reportes que se pueden manejar de forma electrónica. Aunque puede ser una labor difícil, es importante convencer al usuario de que no todo lo del sistema anterior es necesario.

Por otro lado, existe la posibilidad de que el usuario haya adquirido un sistema previo, pero que no incluya la funcionalidad extra que el nuevo sistema tiene. Por ejemplo, adquirió un sistema de control de inventario y punto de venta, pero el sistema no informa a los proveedores del nivel de inventario. Aquí, difícilmente el usuario cambiará al nuevo sistema ya que verá el anterior como una pérdida de su inversión con respecto al sistema anterior, en especial si su adquisición fue reciente. Sin embargo, esto no quiere decir que no se pueda desarrollar un componente que haga uso de la información generada por el sistema previo. Esto requerirá más trabajo, pero puede ser que la cantidad de usuarios que requieran esta situación lo justifique.

¿Quiénes son los usuarios?

Esta pregunta es muy importante, ya que depende de los usuarios el éxito o fracaso del sistema. Por lo cual es fundamental tener claro cuál es el perfil de los usuarios. Como se mencionó antes, si el usuario es un especialista, el sistema puede ser tan complejo como sea necesario, pero si está destinado a no especialistas, el sistema deberá ser lo más sencillo de usar aun cuando los algoritmos empleados puedan ser extremadamente complejos.

Al contemplar el perfil o perfiles que tengan los usuarios, también es importante considerar la forma en la que accederán al sistema. Si lo van a hacer desde una computadora de escritorio o desde un celular. Independientemente de qué dispositivo empleen para acceder es necesario saber cuáles son sus características ¿Qué sistema operativo emplean? ¿Qué tan recientes son? ¿De qué tipo de conexión a internet disponen?

Si existen diversos perfiles de usuario lo ideal es seleccionar uno e ir incorporando los demás en versiones posteriores del sistema.

¿Cuál es el volumen de datos?

El volumen de datos es importante, en especial cuando se trata de estrategias de optimización logística, ya que en este tipo de estrategias no es raro encontrarse con grandes cantidades de datos así como algoritmos complejos que los procesen. Por lo que en algunos casos, es necesario contar con equipo especial (servidores con varios procesadores o grandes cantidades de memoria) para poder procesar la información.

Junto con lo anterior, también es necesario estimar los tiempos necesarios para procesar la información y obtener una respuesta, ya que si se está consultando a través de una página Web, el usuario espera tener la respuesta de forma casi inmediata.

Usando como ejemplo el sistema de la tesis, podría darse el caso de querer saber los niveles de inventario justo antes de cargar los camiones. Si el volumen de datos es muy grande, esto puede generar tiempos de espera muy largos antes de poder hacer la carga. Si este es el caso, una variante

sería obtener los datos al momento de hacer el corte de caja el día anterior a la distribución y procesar los datos en la noche, de tal forma que al iniciar el día, las rutas ya hayan sido calculadas.

¿Se escalará, se incorporarán nuevas funcionalidades?

Como ya se mencionó, es muy importante acotar el alcance del proyecto con el fin de poderlo desarrollar en los tiempos establecidos. Sin embargo, a lo largo del desarrollo surgen varias ideas de cómo se podría mejorar. Estas ideas no deben ser simplemente desechadas por salirse de las especificaciones del proyecto. Deben ser tomadas en cuenta y puestas por separado para que, en caso de que el sistema tenga éxito, se pueda pasar a un segundo proyecto que tome los logros del primero.

En el caso de sistema de ruteo, una segunda versión podría contemplar múltiples productos, ventanas de entrega, alquiler de vehículos, etc. Además, la información de salida de un sistema, puede servir como entrada para otro, por ejemplo, a partir de las cargas se pueden generar la facturación

¿Requiere mantenimiento especial?

Hay que tomar en cuenta que independientemente del éxito o no del sistema, es posible adquirir obligaciones posteriores al cierre de proyecto (en especial si se cobró por él). Y aún cuando no se haya cobrado y se incorpore al mercado del software libre, es también importante tener en cuenta que si se distribuye como un producto avalado no sólo por el desarrollador, sino por ejemplo avalado por la Universidad, el descubrir fallos posteriores al cierre (y prácticamente todos los sistemas los tienen) no sólo afecta la credibilidad del desarrollador, si no de quien lo patrocina.

¿Qué riesgos existen?

Nunca esta de más el tener planes alternativos en caso de que se presente algún problema. Hay que considerar que el equipo puede fallar, por lo que los respaldos son algo importante. Asimismo, si se desarrolla en equipo, es posible que alguno de los integrantes abandone el proyecto. En el caso del software libre, esta es una realidad que puede pesar mucho, ya que si bien no se paga por el uso de estos componentes, es necesario contar con la gente que pueda hacer uso de ellos ya que no existe alguien a quien pedirle soporte.

En la actualidad también es importante considerar la confidencialidad de los datos que se manejan (clientes, direcciones, pedidos, etc.), así como respetar los derechos de autor si se hace uso de algún elemento que no haya sido producido en el proyecto. En el caso del sistema de distribución, se hace uso de Google Maps y no es necesario preocuparse por regalías dado que no es un sistema comercial. Sin embargo, eso puede cambiar dependiendo del uso que se le dé.

Análisis y Diseño

Durante el análisis, es importante haber definido un glosario con el fin de que todos los integrantes del equipo de desarrollo tengan la misma idea cuando se hace referencia a algún elemento del sistema.

Una herramienta clave en el análisis es el uso de diagramas (una imagen dice más que mil palabras), si se desarrolla un sistema Orientado a Objetos existe el Lenguaje de Modelado Unificado o UML, por sus siglas en inglés (Cecil, 2002). Este lenguaje sirve para crear diagramas que funcionan a manera de planos al momento de entrar en la implementación. Como es de esperar, el UML también tiene una

curva de aprendizaje bastante pronunciada. Sin embargo, las figuras 3. 3 a 3.12 del capítulo 3 son ejemplos sencillos de cómo usar este lenguaje.

En primera instancia, hay que determinar los llamados casos de uso, es decir, identificar a los actores que harán uso del sistema, así como los procesos que cada actor puede realizar. Las figuras 3. 3 y 3. 4 son ejemplos de casos de uso.

A partir de los casos de uso, es mas fácil identificar y diseñar los diversos componentes que serán necesarios para crear el sistema. Esto se puede apreciar en las figuras 3. 5 a 3.9.

Por último, los diagramas de secuencia muestran cómo viaja la información de un componente a otro. Las figuras 3. 10, 3. 11 y 3. 12 son ejemplos de diagramas de secuencia. Y son precisamente los diagramas de secuencia los que permiten determinar la funcionalidad de cada componente así como la forma en la que se comunica con los demás.

Implementación

Una vez establecidos los casos de uso, los componentes y la secuencia. Lo siguiente es usar los diagramas para construir el sistema en un lenguaje de programación. Es importante que cada componente que se vaya creando sea revisado por algún otro miembro del equipo de desarrollo a fin de garantizar la calidad del mismo.

Es importante recordar que si existe algún factor que haga imposible crear el componente como lo especifica el diseño, se deben actualizar los diseños a fin de que concuerden con la implementación. No hacer las correcciones puede traer serios problemas si se hace correcciones posteriores al sistema por motivos de mantenimiento.

Pruebas

Es importante tener un plan de pruebas y verificar que todas las funcionalidades que realiza el sistema fueron probadas.

Las pruebas deben ser realizadas preferentemente por los usuarios finales. Aunque si esto no es posible, es muy importante que las pruebas no sean realizadas por los desarrolladores, ya que al conocer ellos su producto, lo usarán conforme lo diseñaron, por lo que descubrir errores se vuelve más difícil.

Es también importante considerar pruebas de estrés. Por ejemplo, en el desarrollo se pudo probar con problemas en los que el número de variables son relativamente pequeñas (número de camiones, número de productos). Sin embargo, en un ambiente real es posible que la cantidad de datos sature al sistema haciendo que los tiempos de respuesta aumenten (si se trata de una página de internet más de 10 segundos es demasiado) o en el peor de los casos que el sistema colapse.

En el caso del sistema desarrollado, originalmente se planteó una interfaz por cada tienda de tal forma que el usuario fuera cambiando los niveles de inventario. El funcionamiento fue correcto, sin embargo para ilustrar el uso del sistema hacerlo tienda por tienda resultó en una labor monótona e innecesaria para cumplir el objetivo, por lo que se ajustó el sistema para que un usuario simulara un periodo de ventas cuyo efecto repercute en todas las tiendas. Naturalmente este cambio afectó tanto el diseño como la construcción del sistema. Esta experiencia sirve para ilustrar que es posible (y algunas veces

necesario) regresar a las primeras etapas del desarrollo. En este caso, el hecho de utilizar programación Orientada a Objetos, permite realizar cambios complejos de forma relativamente sencilla.

Despliegue

Desde luego, hay que considerar la forma en la que se va a distribuir. ¿Cómo se va a cobrar? ¿Se darán sesiones de capacitación? ¿Se elimina el sistema anterior o se trabaja en paralelo con el nuevo? ¿Habrá un manual impreso? ¿En video? ¿Cuáles son las limitantes legales? ¿Qué tipo de licencia tiene? ¿Se entregará el código fuente?

En el caso del sistema desarrollado en esta tesis, los códigos quedan disponibles para que cualquiera pueda hacer uso de ellos, ya sea mejorándolos o bien que sirvan como punto de partida para otros sistemas.

Al final, es muy importante tener un criterio de cierre del proyecto, de lo contrario se puede incurrir en entrar en un proyecto que nunca termina o bien iniciar un segundo proyecto sin dar por terminado el primero. Lo cual puede ser frustrante para el equipo de desarrollo precisamente por verlo como algo que no se va a acabar.

Otro elemento importante del cierre del proyecto es ver las lecciones aprendidas y compartirlas no sólo con el equipo de desarrollo, si no con el resto de la organización a fin de que lo aprendido pueda ayudar a otros.

Bibliografía

Agenda de Competitividad en Logística 2008 -2012 (2008). Secretaria de Economía. México

Ali, Martín (2010) TMS para mejorar la visibilidad de las Supply Chain. *Énfasis Logística* 6, 68-72.

Attiya, Hagit., Welch, Jennifer (2004) *Distributed Computing, Fundamentals, Simulations, and Advanced Topics*. E.E.U.U. Segunda Edición, Wiley.

Bodoff, Stephanie (2002) *The J2EE Tutorial*. E.E.U.U. Sun Microsystems.

Breccia, Humberto (2009) Gestión Logística: Minimizando los costos de transporte. *Énfasis Logística* 7, 52-60.

Cecil Martin, Robert (2002) *UML for Java Programmers*. E.E.U.U. Prentice Hall.

Censos Económicos (2009) Instituto Nacional de Estadística Geografía. México.

Chappell ,David., Jewell, Tyler (2002) *Java Web Services*. E. E. U. U. O'Reilly

Chorafas, Dimitris (2001). *Integrating ERP, CRM, Supply Chain. Management, and Smart Materials*. E.E.U.U. Auerbach Publications.

Dale, Nell (2012). *Object-oriented data structures using Java*. Tercera Edición. E.E.U.U. Cathleen Sether.

Estadística de Bolsillo (2010). Secretaria de Comunicaciones y Transportes. México.

Fisher, Maydele (2003). *JDBC API Tutorial and Referente*. E.E.U.U. Tercera Edición. Addison Wesley.

Ford, Neal (2004). *Art of Java Web Development*. E.E.U.U. Manning Publications.

Fourer, Robert., Goux, Jean-Pierre (2001) Optimization as an Internet Resource. *Interfaces* 31, 130-150.

Fredendall, Lawrence D. (2001) *Basics of Supply Chain Management*. E.E.U.U. Editorial Hill.

García, Sebastian (2010) Usando Logística para crear una ventaja competitiva. *Énfasis Logística* 6, 46-55.

Goodwill, James (2004) *Professional Jakarta Struts*. E.E.U.U. John Wiley & Sons.

Guía sobre las TIC en el sector de la logística y Transporte en la PYME y la MICROPYME. (2010) Cybersudo. España.

- Hal, Marty (2001) *Core Servlets and JavaServer Pages*. E.E.U.U. Prentice Hall and Sun Microsystems.
- Jünger, M. Liebling, T.L., Naddef, D., Nemhauser, G.L., Pulleyblank, W.R., Reinelt, G., Rinaldi, G., Wolsey, L.A (eds.) (2010): *50 Years of Integer Programming 1958-2008 - From the Early Years to the State-of-the-Art*. E.E.U.U. Springer, Heidelberg
- Knusden, Johnathan (1999) *Java 2D Graphics*. E.E.U.U. O'Reilly & Associates.
- Lambert, Douglas., Stock, James (1998) *Fundamentals of Logistics Management*. E.E.U.U. McGraw-Hill.
- Law, Averill M. (2000) *Simulation modeling and analysis*. E.E.U.U. Tercera Edición. McGraw-Hill.
- Libro blanco de las TIC en el Sector Transporte y Logística*. FUNDETEC y Junta de Castilla y León. (2008). España.
- Oswald, M., Reinelt, G., Theis, D.O. (2007) On the Graphical Relaxation of the Symmetric Traveling Salesman Polytope. *Mathematical Programming B* 110(1), 175-193 .
- Panos, Pardalos (2004) *Supply Chain And Finance*. E.E.U.U. World Scientific Pub. Co. Inc.
- Rebennack, S., Reinelt, G., Pardalos, P.M. (2012) A tutorial on branch and cut algorithms for the maximum stable set problem. *International Transactions in Operational Research* 19(1-2), 161-199.
- Reinelt, G. (1994) The Traveling Salesman: Computational Solutions for TSP Applications. *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 840. Springer, Heidelberg .
- Rumpler, Julian (2010) Los costos de aprovisionar, almacenar y transportar. *Énfasis Logística* 6, 32-37
- Salas, Rosa María (2009) Comercio electrónico: Hacia la automatización de transacciones rentables. *Énfasis Logística* 112, 12-22.
- Syslo, Maciej. (1983) *Discrete Optimization Algorithms*. E.E.U.U. Prentice Hall.
- Theis, D.O., Reinelt, G. (2006) A note on the Undirected Rural Postman Problem polytope. *Mathematical Programming A* 106(3), 447-452.
- Toth, Paolo., Daniele, Vigo. (2002) *The Vehicle Routing Problem*. E.E.U.U. Editorial SIAM.

Recursos Digitales

Artículos

Correa, Edgar. (2011) *Tecnología en la logística de transporte*. Alta Gerencia Consultores, En línea: http://www.edgarcorrea.com/index.php?option=com_content&view=article&id=161:tecnologia-en-la-logistica-de-transporte&catid=2:-logistica-&Itemid=2

Donnadieu, Ernesto. (2011) *Cómo mejorar la logística de tu empresa*. CNN Expansion, En línea: <http://www.cnnexpansion.com/opinion/2011/06/27/como-mejorar-la-logistica-de-tu-empresa>

González, Antonio. (2011) *Retos y oportunidades de las TIC en transporte y logística*. Gaceta Tecnológica, En línea: http://www.gacetatecnologica.com/espacio_emergya/2011/07/01/retos-y-oportunidades-de-las-tic-en-transporte-y-logistica/

González, Lilia. (2011) *Costos de logística, cuello de botella de la industria*. El Economista, En línea: <http://eleconomista.com.mx/industrias/2011/07/05/costos-logistica-cuello-botella-industria>

Notimex. (2011) *Decreten exportaciones mexicanas por altos costos de logística*. SDPNoticias. En línea: http://sdpnoticias.com/nota/114507/Decreten_exportaciones_mexicanas_por_altos_costos_de_logistica

Sitios Web

Banco Mundial (2011) Índice de desempeño logisitco. En Línea: <http://datos.bancomundial.org/indicador/LP.LPI.OVRL.XQ>

Catedrales: El Proceso Unificado de Modelado (2011) Manual de Referencia de Gmodulo. En línea: <http://gmodulo.sourceforge.net/docs/html/manual/ch02s05.html>

COFETEL (2011). Micrositio estadístico. En línea: <http://siemt.cft.gob.mx/SIEM/>

Google Developers (2012). Tutorial de la versión 3 del API de JavaScript de Google Maps. En línea: <http://code.google.com/apis/maps/documentation/javascript/tutorial.html>

IEEE (2008). The Cloud Is The Computer. En línea: <http://spectrum.ieee.org/computing/hardware/the-cloud-is-the-computer>

Java in Action (2012). Take the power of Google Maps with you. En línea: http://www.java.com/en/java_in_action/google_maps.jsp

JQuery (2012). JQuery is a new kind of JavaScript Library. En línea: <http://jquery.com/>

Netbeans (2011). Connecting to a MySQL Database. En línea: <http://netbeans.org/kb/docs/ide/mysql.html>

Netbeans (2011). Using jQuery to Enhance the Appearance and Usability of a Web Page. En línea: <http://netbeans.org/kb/docs/web/js-toolkits-jquery.html>

Oracle (2012) Oracle Transportation Management. En línea:
<http://www.oracle.com/us/products/applications/ebusiness/scm/018756.htm>

Oracle (2012) Oracle Supply Chain Management. En línea:
<http://www.oracle.com/us/solutions/scm/index.html>

Oracle (2012) Oracle PeopleSoft Applications. En línea:
<http://www.oracle.com/us/products/applications/peoplesoft-enterprise/overview/index.html>

Secretaría de Economía (2011) Logística. En línea: <http://www.economia.gob.mx/comunidad-negocios/innovacion/logistica>