

# Análisis del impacto de un sistema inteligente de transporte sobre una red de distribución.

Basado en simulación dinámica por eventos discretos y test anova

IMPACT OF AN INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEM ON A DISTRIBUTION NETWORK THROUGH THE APPLICATION OF DISCRETE-EVENT SIMULATION AND ANOVA TEST

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/5858> | Recibido: 30/05/2013 • Aceptado: 04/09/2013



Lorena Polo-Navarro, David Ciprés-Bagüeste,  
Miriam García-Milla

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ARAGÓN. División de Logística.  
C/María de Luna, 8 - 50018 Zaragoza. Tfno: +34 976 011852

## ABSTRACT

- Intelligent Transportation Systems (ITS) have the potential to improve the efficiency of a distribution network facilitating decision-making in real time. In this paper, we analyze with a case study the profit reported by an ITS in a perishable goods distribution network under different network configurations and different environmental conditions. An ITS serves as support in three areas of decision making: Assignment to logistic flow, new collection orders from suppliers and detection and management of degraded merchandise. The analysis have been developed through a dynamic simulation model and an ANOVA test.
- **Keywords:** Intelligent Transportation System, crossdocking, perishables, simulation, logistic flows design.

## RESUMEN

Los sistemas inteligentes de transporte (SIT) tienen el potencial de mejorar la eficiencia de una red de distribución al facilitar la toma de decisiones en tiempo real. En este artículo se analiza, mediante un caso de estudio, el beneficio reportado por un SIT en una red de distribución de mercancía perecedera ante distintas configuraciones de red y distintas condiciones ambientales.

En el caso, el SIT sirve como apoyo ofreciendo una mayor visibilidad sobre la calidad de los productos transportados y sobre nuevas solicitudes de carga de otros proveedores. El SIT también permite la selección del flujo logístico más eficiente durante el transporte. El análisis se lleva por medio de un modelo de simulación por eventos discretos y un test ANOVA.

**Palabras clave:** Sistema Inteligente de Transporte, simulación, ANOVA, productos perecederos, flujos logísticos.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas inteligentes de transporte (SIT) son una combinación de información, comunicaciones y tecnologías en vehículos e infraestructuras que nacen con un triple objetivo: eficacia, eficiencia y seguridad [1]. La principal funcionalidad de estos sistemas consiste en obtener, procesar y distribuir información. Esto conduce a una mayor visibilidad sobre la flota de transporte y sobre las condiciones de los vehículos en tiempo real. Con esta información, el gestor de la flota puede tomar la decisión más conveniente en cada momento.

En la logística alimentaria, buena parte del éxito reside en la captación y la gestión de la información durante los procesos. Parámetros como la temperatura, la humedad y la circulación del aire pueden alterar las propiedades organolépticas (sabor, textura, olor, color) de los alimentos y comprometer su calidad [2].

El desarrollo de las tecnologías asociadas a los SIT abre la posibilidad de perfeccionar la monitorización de parámetros influyentes sobre los productos durante el transporte. Algunos ejemplos de tecnologías aplicadas a los SIT son los siguientes:

- Sistemas de localización por satélite, que permiten determinar en cualquier parte del mundo la posición de un vehículo con un pequeño margen de error.
- Redes de sensores inalámbricas, que capturan información de distintas magnitudes que pueden afectar a los productos como temperatura, humedad, vibraciones o luminosidad.

- Sistemas de identificación RFID, que permiten registrar y obtener información de los productos a lo largo de la cadena de suministro por medio de etiquetas adheridas a los mismos.
- Redes de comunicación inalámbricas (*Bluetooth, WIFI,...*), que posibilitan el envío de información entre dispositivos con distintos alcances.

Un sistema inteligente de transporte permite la aplicación conjunta de éstas y otras tecnologías al proceso de toma de decisiones. El área de decisión asociada a los SIT más referida en la literatura científica es la replanificación de rutas ante cambios en la demanda [3] y ante cambios en el tiempo previsto de viaje [4, 5]. Los procesos de distribución de mercancías pueden verse comprometidos por distintos factores (solicitud de nuevas cargas, averías, degradación de los productos, congestiones, etc.). La captura y la gestión de esta información de forma dinámica permiten replanificar en tiempo real los procesos de transporte de la manera más eficiente, dotando a la red de la máxima flexibilidad y rapidez de respuesta. Ante imprevistos, un sistema inteligente de transporte puede activar un sistema de alertas, proporcionar la información necesaria a los responsables de gestión, o proponer nuevas opciones de distribución.

Hay pocos estudios dedicados a analizar el impacto de la adopción de sistemas TIC en los procesos de transporte y, los que existen, se basan generalmente en análisis empírico y no en modelos analíticos y de simulación [10]. El objetivo general de este trabajo es la identificación de las funcionalidades de un sistema inteligente de transporte que mayor impacto tienen en costes y servicio para una empresa que se dedique a la distribución o transporte de productos perecederos. Se persigue además valorar el beneficio que pueden obtener dichas empresas con la implantación de sistemas de este tipo en función de las características de sus redes de distribución (alcance geográfico). Con este fin, se analiza el beneficio obtenido por la implantación de un SIT mediante la simulación de un caso de estudio basado en una configuración real de una red de distribución alimentaria. En el caso de estudio, los vehículos de la flota están dotados de un SIT mediante el cual capturan en tiempo real información de temperatura de la carga, volumen disponible y localización del vehículo durante el trayecto. El sistema registra esta información y la centraliza en un ordenador embarcado en el vehículo. El propio dispositivo puede replanificar la ruta ante la reducción de la calidad de la mercancía transportada, ante nuevas solicitudes de carga o ante una opción de distribución más eficiente. La simulación se lleva a cabo mediante un modelo de eventos discretos, que es una técnica habitual para el modelado de sistemas dinámicos. Los resultados de la simulación se evalúan mediante un test de varianza ANOVA, que persigue analizar la influencia de distintos factores sobre una o más variables y cuantificar dicho impacto.

El artículo está organizado de la manera siguiente. En la sección 2, se presenta una revisión de la literatura sobre sistemas TIC aplicados a los procesos de transporte. En la sección 3, se describe el método seguido para la simulación del caso de estudio. En la sección 4, se presentan los resultados obtenidos de la simulación y los resultados del test ANOVA.

## 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

El transporte de mercancías tiene un protagonismo creciente dentro de los procesos logísticos, debido a su importancia dentro de los costes logísticos globales (entre un 25% [6] y un 50% [7]). Los procesos de transporte se caracterizan por una gran complejidad (redes formadas por distintos agentes que requieren coordinación) y una creciente competitividad debida a la globalización de los mercados y a una mayor exigencia de los clientes. En este contexto, los sistemas inteligentes de transporte proporcionan un soporte sustancial a los procesos.

Si bien la adopción de estas tecnologías sigue siendo baja, la penetración de estos sistemas se ha acelerado en los últimos años debido principalmente a la disponibilidad de un mayor número de aplicaciones en el mercado, con unas funcionalidades más amplias y a un coste cada vez menor [10]. En la Tabla 1 se incluyen distintos ejemplos de tecnologías aplicadas a los procesos de transporte con el fin de monitorizar la carga.

Tecnología	Aplicación
WSN, GPS	Trazabilidad y seguimiento de materiales nucleares [11]
Bluetooth	Vínculo entre cabina y cabeza tractora [12]
RFID	Identificación automática en el transporte por ferrocarril [13]
RFID	Trazabilidad de contenedores [14]
WSN	Sistema de trazabilidad para contenedores en puertos [15]
Zigbee	Monitorización de contenedores de carga [16]
WSN	Wireless sensors in agriculture and food industry [17]
RFID	Identificación de contenedores en depósitos [18]
WSN, RFID	Monitorización de fruta en el almacenaje y el transporte [19]
RFID, sensors	Monitorización de alimentos durante el transporte [20]
WSN, RFID	Monitorización de temperatura en el suministro de carne [21]

Tabla 1: Ejemplos de aplicaciones de TIC al transporte

Sin embargo, hay pocos estudios dedicados a analizar el impacto de la adopción de sistemas TIC en los procesos de transporte. Los artículos existentes aplican como principal método de investigación el análisis empírico, mientras que las contribuciones que utilizan modelos analíticos y de simulación son todavía muy escasas [10]. Un ejemplo de este enfoque analítico es el trabajo de Mason y otros [25]. En el mismo, los autores desarrollan un modelo de simulación por eventos discretos de una cadena de suministro multi-producto y analizan el impacto de tener en el transporte una mayor visibilidad sobre el inventario de los almacenes. A través de resultados experimentales, muestran el potencial de estos sistemas para mejorar el nivel de servicio al cliente y la reducción de costes.

El presente artículo responde a la necesidad de analizar el impacto sobre el beneficio derivado de la adopción de sistemas TIC en los procesos de transporte [10]. El análisis se realiza sobre un caso de estudio basado en una red de distribución real de mercancía perecedera. Mientras que, en el caso referido de Mason y otros [25], se analiza el beneficio potencial que proporciona una mayor visibilidad sobre el inventario, en el presente artículo se analiza el impacto de un sistema de transporte con nuevas funcionalidades. En primer lugar, el sistema de transporte calcula de forma dinámica la pérdida de calidad de los productos a partir de la información registrada por una red de sensores distribuida por la carga del camión. En segundo lugar, el sistema proporciona visibilidad sobre solicitudes

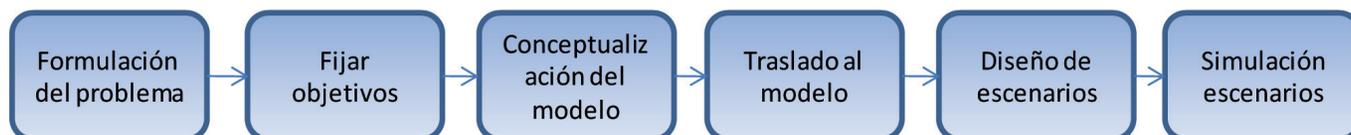


Figura 1: Metodología para el análisis de simulación

de carga de otros proveedores y captura de forma automática el volumen disponible en el camión. En tercer lugar, el sistema analiza mediante modelos matemáticos en cada momento del trayecto cual es la opción de distribución más eficiente entre envío directo y *crossdocking*. En el artículo, se analiza además el impacto de este sistema ante dos alcances geográficos de la red (alcance nacional e internacional) y ante dos niveles de fiabilidad del sistema de control de temperatura del camión. El análisis se realiza por medio de la aplicación de técnicas de simulación a distintos escenarios del caso de estudio y los resultados obtenidos se analizan mediante un test de varianza ANOVA.

### 3. MÉTODO DE SIMULACIÓN

El uso de modelos de simulación es apropiado para estudiar y experimentar interacciones entre las variables que componen sistemas complejos. La simulación puede definirse como la construcción de modelos que representan sistemas ya existentes o hipotéticos, y la experimentación con dichos modelos para explicar el comportamiento de los sistemas.

Existen diferentes métodos de simulación, pero el más extendido es la *Simulación de Eventos Discretos* [26]. Con esta técnica, el sistema objeto de estudio se modela representando el estado de sus elementos mediante un grupo de variables que cambia a medida que pasa el tiempo de manera discreta. Por sus propias características, la simulación por eventos discretos se adapta muy bien a la naturaleza de los sistemas reales, que usualmente no se prestan a una descripción matemática que contemple todos sus detalles y versatilidad.

Para el análisis de distintos escenarios de simulación, se sigue la metodología [27] definida en la Fig. 1. En los siguientes apartados, se describen las etapas del análisis.

#### 3.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El caso de estudio se basa en una red real de distribución de productos alimentarios, en particular frutas y verduras. La red está formada por 17 proveedores, un centro de distribución y 44 tiendas de tipo hipermercado distribuidas por el Norte de España. La localización del centro de distribución y de las tiendas es conocida pero se desconoce la ubicación de los proveedores. La empresa distribuidora satisface diariamente la demanda de unos 650 tipos de productos, caracterizados por unas dimensiones físicas (que de cara al análisis pueden clasificarse en tres tipos, según su embalaje en caja pequeña, caja mediana y palé) y una temperatura óptima de conservación.

Un operador de transporte hace llegar la mercancía de los proveedores a las tiendas mediante dos opciones de distribución: envío directo a tienda (ver Fig. 2, línea discontinua) o envío a través de un centro de distribución sin almacenamien-

to o *crossdocking* (ver Fig. 2, línea continua). Los vehículos tienen una capacidad establecida y las rutas de reparto a las tiendas desde el centro de distribución son fijas.

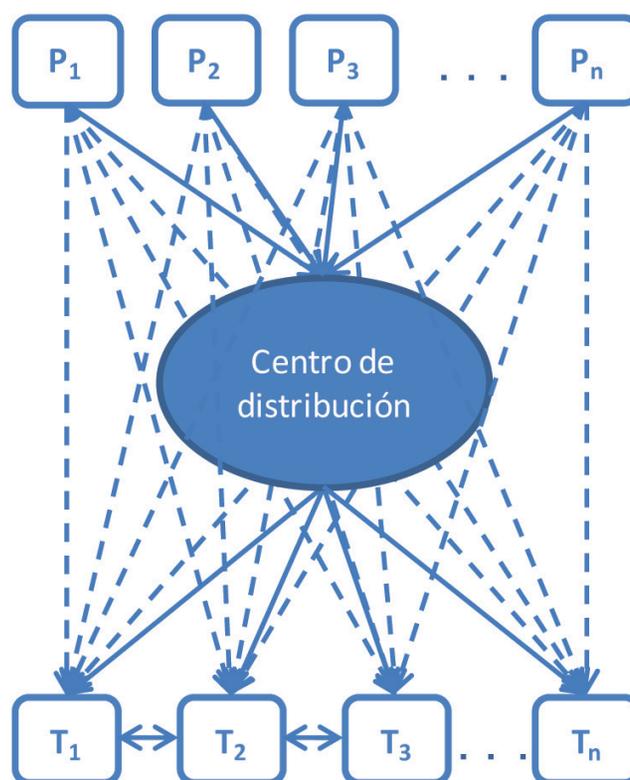


Figura 2: Esquema de los flujos de distribución

#### 3.2. FIJAR OBJETIVOS

El objetivo general del análisis es identificar el impacto derivado de la implantación de un SIT en la flota de transporte. En particular, se persigue analizar el impacto sobre los costes de transporte y sobre el nivel de calidad registrado en los productos al llegar a las tiendas.

#### 3.3. CONCEPTUALIZACIÓN Y TRASLADO AL MODELO

En el caso de estudio, se plantea un sistema inteligente de transporte embarcado en los vehículos de la flota que es capaz de actualizar las rutas durante el trayecto en función de tres variables de decisión: el nivel de calidad de la mercancía transportada, la existencia de nuevas solicitudes de carga por parte de otro proveedor y la opción de distribución más eficiente en cada momento.

Para determinar la pérdida de la calidad de los productos transportados (en adelante, QL), se parte de conceptos y mo-

delos matemáticos planteados en trabajos previos [28]. Generalmente, se considera que la calidad de los productos disminuye durante el transporte cuando la temperatura registrada en la gabarra se desvía de la temperatura óptima de los productos. Asimismo, se considera que los productos transportados no son aptos para la venta cuando la pérdida de calidad de los productos del vehículo supera un umbral ( $QL_{adm}$ ). En estos casos, el vehículo no continúa su trayecto hasta destino, sino que se dirige al punto de recogida de residuos más cercano.

La toma de decisión para la actualización de la ruta según nuevas solicitudes de carga de otro proveedor (recogida/ no recogida) y para la selección de la opción de distribución más eficiente (envío directo/crossdocking) se basa en el coste de transporte para cada una de las opciones según el siguiente modelo de costes:

$$C_{Total} = C_F + C_V + C_p + C_M$$

Donde:

- $C_{Total}$  es el coste total de transporte de la red de distribución.
- $C_F$  es el coste fijo correspondiente a todos los vehículos de la red (coste de personal de conducción, seguros, amortización/alquiler del vehículo).
- $C_V$  es el coste variable correspondiente a todos los vehículos, y depende de la distancia recorrida por cada uno de ellos en el caso de distribución no urbana y del tiempo en el caso de distribución urbana.
- $C_p$  es el coste de parada en instalaciones intermedias (como en las instalaciones de proveedores con nuevas solicitudes de carga) y debido a las operaciones y pérdida de productividad de los vehículos en estos nodos.
- $C_M$  es el coste de manipulación asociado a las operaciones dentro del centro de distribución (recepción, expedición, etc.) y dependiente del número de bultos que intervienen en las operaciones.

El diseño planteado se traslada a un modelo de simulación dinámica por eventos discretos utilizando el software Enterprise Dynamics® 8. En el modelo, los proveedores se han distribuido de forma aleatoria en torno al centro de distribución. La Figura 3 muestra la situación geográfica de la red de distribución y la vista final del modelo.

### 3.4. DISEÑO DE ESCENARIOS Y SIMULACIÓN

El modelo de simulación se usa para llevar a cabo un análisis de escenarios definidos por cinco factores y dos niveles por factor:

- Visibilidad sobre la pérdida de calidad de los productos durante el transporte (on/off)
- Visibilidad sobre las solicitudes de carga de nuevos proveedores (on/off)
- Selección dinámica de opción de distribución de transporte (on/off)
- Alcance geográfico (Internacional, local)
- Fiabilidad del sistema de control de temperatura (alta, baja)

La visibilidad de la pérdida de calidad de los productos durante el transporte (VCAL) se refiere a la visibilidad que ofrece un SIT instalado en los vehículos de la flota sobre la calidad de los mismos. La visibilidad sobre nuevas solicitudes de carga (VCAR) se refiere a la visibilidad sobre la mercancía lista para expedir de otros proveedores. La selección de la opción de distribución más eficiente (ODIS) se refiere a la disponibilidad de un sistema de análisis integrado en el vehículo que determina durante el trayecto cuál es la opción de menor coste entre crossdocking y envío directo. El alcance geográfico (ALGEO) y la fiabilidad del sistema de control de temperatura del vehículo (FIABTEM) se analizan para ver si las dimensiones de la red de distribución y la desviación de la temperatura de la gabarra respecto de la temperatura óptima de los productos afectan de forma significativa al impacto de los factores anteriores. En total, se han simulado 32 escenarios en el modelo de simulación, con diez réplicas de cada uno de ellos.

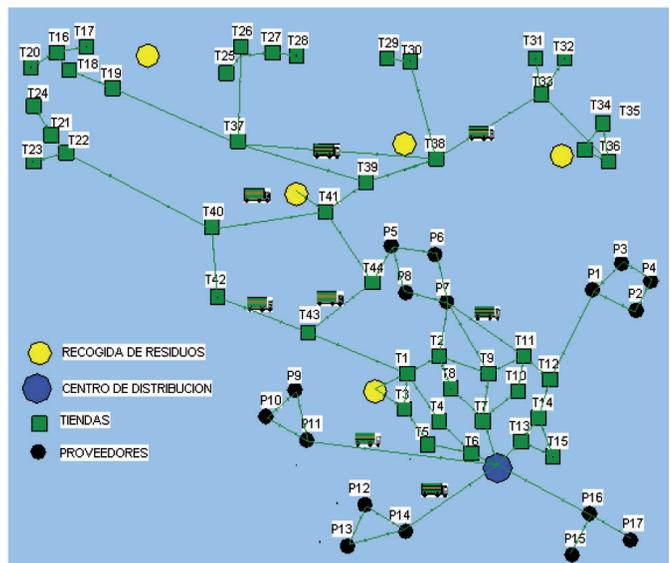
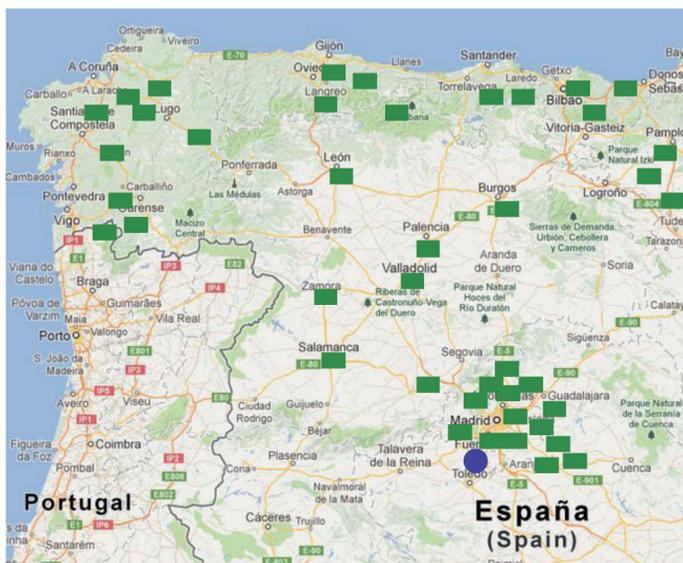


Figura 3: Situación geográfica de la red de distribución (Fuente: Google Maps) y vista del modelo de simulación

## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

En este apartado se analiza el impacto de los factores descritos en el apartado anterior sobre el coste logístico y sobre el servicio ofrecido a las tiendas. El coste logístico se calcula como la suma de costes incurridos en la distribución de la mercancía (transporte y manipulación en el centro de distribución). El servicio se cuantifica en función de la pérdida de calidad de los productos (QL) al llegar a las tiendas. La empresa distribuidora tiene marcado un nivel de calidad objetivo (QL<sub>obj</sub>). Por encima de este nivel, la calidad de los productos se ve comprometida. Por debajo de este nivel, los recursos dedicados a la conservación de los productos exceden a las necesidades reales. Los resultados asociados a la calidad se

muestran de forma porcentual, respecto a este valor objetivo (QL<sub>obj</sub>). El nivel de servicio objetivo se corresponderá por tanto con un %QL/QL<sub>obj</sub> del 100%.

Los resultados de la simulación de los distintos escenarios se resumen en la Tabla 2.

### 4.2. ANÁLISIS DEL IMPACTO SOBRE LOS COSTES LOGÍSTICOS

Con objeto de identificar los factores que tienen un impacto mayor en los costes logísticos, se ha realizado un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el software estadístico *Minitab*® 14. Los modelos ANOVA son modelos estadísticos cuyo objetivo es averiguar si unos determinados factores incluyen en una variable de interés y, si existe influencia de algún factor, cuantificar dicha influencia. En nuestro análisis,

Escenario	VCAL	VCAR	ODIS	ALGEO	FIABTEM	CostePromedio	CosteDesvEst	% QLProm/ QLObj	% QLDesv/ QLObj
1	On	On	On	Nacional	Alta	21194	1695	93%	15%
2	On	On	On	Nacional	Baja	21190	1476	101%	8%
3	On	On	On	Internac.	Alta	37640	4140	94%	8%
4	On	On	On	Internac	Baja	35520	4262	98%	12%
5	On	On	Off	Nacional	Alta	22320	1562	96%	13%
6	On	On	Off	Nacional	Baja	22260	890	87%	13%
7	On	On	Off	Internac	Alta	39768	3976	98%	15%
8	On	On	Off	Internac	Baja	38480	4232	98%	6%
9	On	Off	On	Nacional	Alta	23884	1433	89%	9%
10	On	Off	On	Nacional	Baja	23908	956	97%	7%
11	On	Off	On	Internac	Alta	42640	5116	91%	7%
12	On	Off	On	Internac	Baja	40592	5276	98%	7%
13	On	Off	Off	Nacional	Alta	24896	1991	85%	6%
14	On	Off	Off	Nacional	Baja	24748	989	94%	14%
15	On	Off	Off	Internac	Alta	45558	2277	91%	8%
16	On	Off	Off	Internac	Baja	45740	3201	97%	5%
17	Off	On	On	Nacional	Alta	22172	1773	96%	8%
18	Off	On	On	Nacional	Baja	22860	1143	104%	6%
19	Off	On	On	Internac	Alta	42720	4699	98%	9%
20	Off	On	On	Internac	Baja	43200	4752	106%	12%
21	Off	On	Off	Nacional	Alta	22680	907	95%	12%
22	Off	On	Off	Nacional	Baja	23200	3016	102%	6%
23	Off	On	Off	Internac	Alta	44080	2644	100%	13%
24	Off	On	Off	Internac	Baja	44816	3137	112%	9%
25	Off	Off	On	Nacional	Alta	24260	1455	90%	15%
26	Off	Off	On	Nacional	Baja	24296	1457	103%	10%
27	Off	Off	On	Internac	Alta	48616	2430	100%	12%
28	Off	Off	On	Internac	Baja	48544	1941	117%	6%
29	Off	Off	Off	Nacional	Alta	25580	3325	96%	7%
30	Off	Off	Off	Nacional	Baja	26268	3414	101%	12%
31	Off	Off	Off	Internac	Alta	49840	2992	100%	12%
32	Off	Off	Off	Internac	Baja	50760	2538	115%	9%

Tabla 2: Resultados experimentales obtenidos de los test de simulación

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		25553	418.4	61.07	0.000
VCAL	-1441	-720	544.3	-1.32	0.234
VCAR	-5378	-2689	544.3	-4.94	0.003
ODIS	-2348	-1174	544.3	-2.16	0.074
FIABTEM	819	410	544.3	0.75	0.480
ALGEO	48660	24330	544.3	44.70	0.000
VCAL*VCAR	162	81	656.5	0.12	0.906
VCAL*ODIS	390	195	656.5	0.30	0.776
VCAL*FIABTEM	-201	-101	656.5	-0.15	0.883
VCAL*ALGEO	-7119	-3560	656.5	-5.42	0.002
VCAR*ODIS	409	205	656.5	0.31	0.766
VCAR*FIABTEM	146	73	656.5	0.11	0.915
VCAR*ALGEO	-6632	-3316	656.5	-5.05	0.002
ODIS*FIABTEM	-562	-281	656.5	-0.43	0.684
ODIS*ALGEO	-460	-230	656.5	-0.35	0.738
FIABTEM*ALGEO	1509	755	656.5	1.15	0.294
VCAL*VCAR*ODIS	-137	-68	656.5	-0.10	0.920
VCAL*VCAR*FIABTEM	-1167	-584	656.5	-0.89	0.408
VCAL*VCAR*ALGEO	401	201	656.5	0.31	0.770
VCAL*ODIS*FIABTEM	-551	-276	656.5	-0.42	0.689
VCAL*ODIS*ALGEO	-3415	-1708	656.5	-2.60	0.041

Tabla 3: Efectos estimados y coeficientes para la variable Costes Media

para identificar los factores significativos se han obtenido tres tipos de resultados: p-valor, gráfico de probabilidad normal de los efectos y gráfico Pareto de los efectos.

El p-valor es un indicador estadístico que da idea de la significancia de una variable. Se consideran significativos aquellos efectos o interacciones de efectos que presentan p-valores

menores que 0.05. En la Tabla 3 pueden apreciarse los resultados del análisis de varianza, en la cual se muestran todas las interacciones hasta las de tercer grado. Se han recuadrado aquellos efectos o interacciones significativas

En el gráfico de probabilidad normal de los efectos, los puntos alejados de la línea de ajuste se corresponden con los efectos más significativos. Los efectos poco significativos suelen estar centrados en el cero. El gráfico Pareto de efectos determina la magnitud y la importancia de un efecto. El gráfico muestra el valor absoluto de los efectos e incluye una línea de referencia. Aquellos factores que atraviesen esta línea son potencialmente importantes (ver ambos gráficos en la Fig.4).

En un análisis de varianza, es importante comprobar que las hipótesis del modelo se verifican para poder sacar conclusiones fiables. Mediante un análisis de los residuos, vemos cómo estas suposiciones (linealidad de los residuos, homocedasticidad, normalidad e independencia) se satisfacen (ver gráficos (1), (2), (3) y (4) respectivamente en Figura 5).

El factor más significativo sobre el coste, al margen del alcance geográfico (término E), es la visibilidad sobre el estado de la mercancía teniendo en cuenta el tamaño de la red (término AE). La reducción de costes se debe a que, ante una degradación de los productos, el vehículo se dirige al punto de recogida de residuos más cercano, sin necesidad de finalizar el trayecto. Este factor apenas resulta significativo de forma independiente (término A), debido a que en la red nacional propuesta el trayecto dura unas horas, y en este intervalo los productos seleccionados no sufren apenas

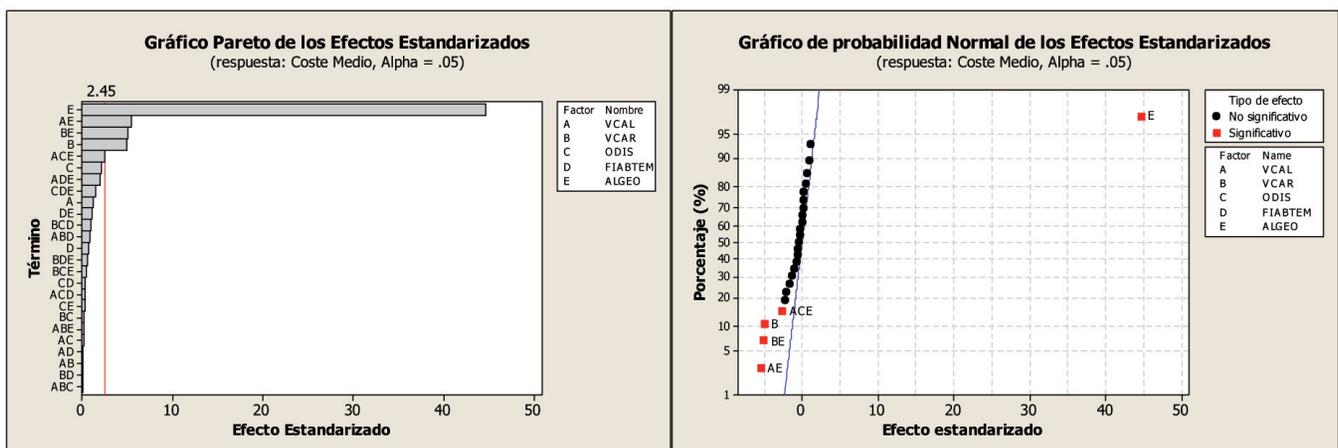


Figura 4: Diagrama de Pareto y Gráfico de Probabilidad Normal

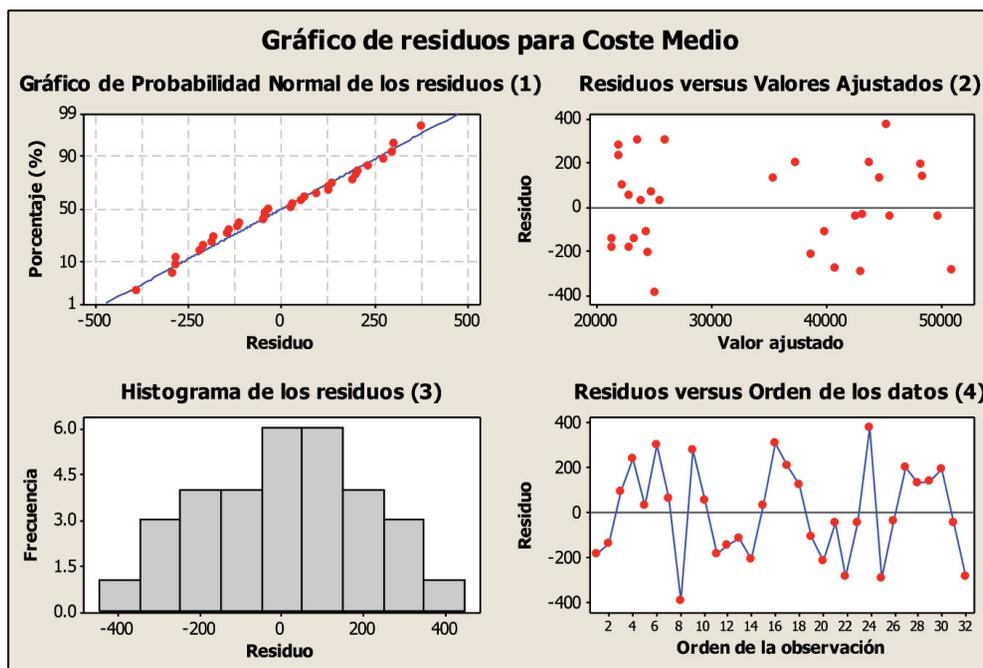


Figura 5: Gráficos de análisis de residuos

degradación. Otra funcionalidad del SIT significativa sobre los costes es la visibilidad sobre las cargas de otros proveedores (término B), que permite la reducción del número de vehículos en el sistema debido a una mayor utilización de la capacidad de los mismos. Su influencia es mayor dado un determinado alcance geográfico de la red (término BE). Cercanos al límite de significancia se encuentran el factor de selección de flujo de distribución (término C), interacciones del mismo (términos ACE y CDE) y la visibilidad sobre la degradación de los productos con dependencia de la fiabilidad del sistema de temperatura del vehículo y según el alcance geográfico de la red de distribución (término ADE).

Para cuantificar los efectos de los factores analizados, se determinan los gráficos de efectos principales y las interacciones de efectos sobre los resultados de coste obtenidos. El gráfico de efectos principales muestra la media de la varia-

ble respuesta (en este caso, los costes logísticos) para los distintos niveles de cada factor. El gráfico de interacciones muestra la media de coste para cada nivel de factor cuando un segundo factor permanece constante. En adelante, el impacto se cuantifica como la diferencia porcentual del coste logístico de un mismo factor para dos niveles distintos.

Del gráfico de efectos principales (primer gráfico de la Figura 6) se deduce que el mayor impacto sobre el coste lo producen la visibilidad sobre las cargas de otros proveedores (impacto del 12% de reducción de costes) y la visibilidad sobre la calidad de la mercancía (impacto del 9%). El impacto de la selección dinámica del flujo logístico es del 5%. En el gráfico de inte-

racción de efectos se observa que el impacto de la visibilidad de la calidad de la mercancía es mayor cuando la red tiene mayores dimensiones (13% de impacto) que cuando es una red nacional (3%). Lo mismo ocurre con la visibilidad de nuevas solicitudes de carga de otros proveedores, que pasa de tener un impacto en reducción de costes del 4% en una red nacional a un impacto del 13% en un ámbito internacional.

### 4.3. ANÁLISIS DEL IMPACTO SOBRE EL SERVICIO A LAS TIENDAS

En este apartado, se realiza el mismo análisis estadístico que en el apartado anterior, analizando la influencia de los factores sobre el servicio a las tiendas. El servicio proporcionado a las tiendas se valora según el nivel de calidad que registra la mercancía al llegar a las mismas. Los resultados obtenidos del test ANOVA se muestran en la Figura 7.

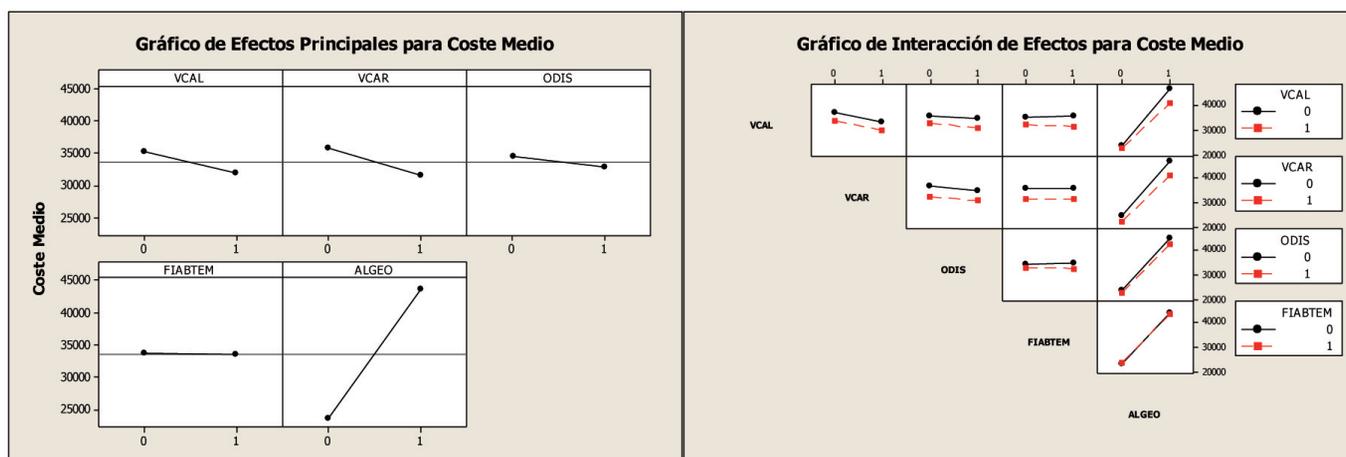


Figura 6: Efectos principales e interacciones de efectos

Del test ANOVA se obtiene que el factor más significativo sobre el servicio a las tiendas es la visibilidad sobre la calidad de los productos transportados (término A en el gráfico (1) y (2) de la Figura 7), con un 8% de impacto (Figura 7, gráfico (3)). Ante la detección de productos degradados, el sistema actualiza la ruta del vehículo para trasladarlos a un punto de recogida de residuos, evitando que dichos productos lleguen en mal estado a las tiendas. La visibilidad sobre la calidad de los productos transportados tiene un mayor impacto sobre el servicio cuando la fiabilidad del sistema de temperatura es baja (11% de impacto, gráfico (4)) que cuando el sistema es fiable (5% de impacto). Análogamente, el impacto sobre el servicio de la visibilidad de la calidad de los productos transportados es mayor con un alcance geográfico mayor (9%) respecto al impacto a nivel nacional (5%), puesto que en trayectos mayores la probabilidad de pérdida de calidad de los productos es mayor.

### 5. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Un sistema inteligente de transporte posibilita un flujo de la información en tiempo real entre el vehículo de transporte, el gestor de flota, el punto de origen de la mercancía y el punto de destino. Este flujo de información, compartido y dinámico, favorece una toma de decisiones más eficaz sobre los procesos, redundando en un aumento de la eficiencia logística.

En este artículo, se ha analizado el impacto de un sistema inteligente de transporte con distintas funcionalidades sobre el coste logístico y sobre el servicio proporcionado a las tiendas en un escenario de distribución de mercancía perecedera. A partir de una visibilidad más amplia sobre el estado de los productos y sobre los procesos de otros proveedores, el sistema permite replanificar los procesos de transporte en tiempo real para conseguir la máxima eficiencia. Del análisis se ha obtenido que el mayor impacto sobre el coste logístico se produce cuando el sistema de transporte incorpora funcionalidades que proporcionan visibilidad sobre la calidad de los productos transportados y sobre las solicitudes de carga de otros proveedores, en especial cuando el alcance geográfico de la red es más amplio. El mayor impacto sobre el servicio a las tiendas se produce cuando el sistema inteligente de transporte proporciona visibilidad sobre el nivel de calidad de los productos durante el trayecto. Este impacto es mayor cuando la red de distribución tiene un alcance más amplio y cuando el sistema de control de temperatura tiene menor fiabilidad.

En trabajos futuros podría analizarse el impacto de nuevos factores, como el volumen de demanda de las tiendas (que impactará sobre el número de vehículos en la red) o el número de proveedores en el sistema. También podría ampliarse el alcance analizando el impacto que tendría sobre la red de distribución la implantación de una plataforma colaborativa de integración de información que proporcione una visibilidad mayor de los procesos a los distintos agentes de la cadena de suministro.

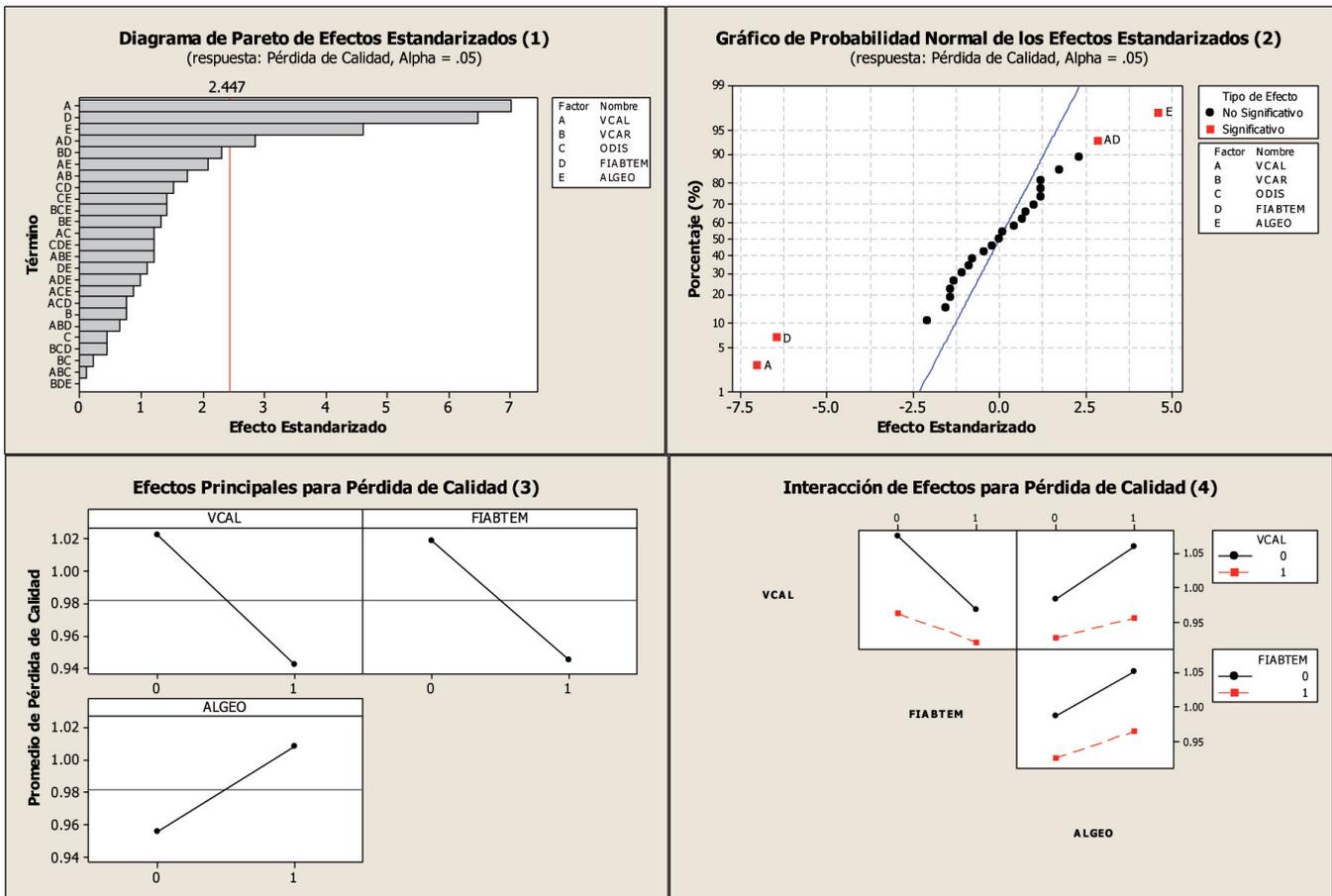


Figura 7: Diagrama de Pareto, Gráfico de Probabilidad Normal, Efectos Principales e Interacciones de Efectos

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias al apoyo del Grupo de Investigación Aplicada del Instituto Tecnológico de Aragón, del Fondo Europeo de Desarrollo Regional a través del Programa Operativo de Cooperación Territorial España-Francia-Andorra 2007-2013 (EFA194/11) y del Ministerio de Industria, Energía y Turismo de España a través del PLAN AVANZA (TSI-020302-2010-80).

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Crainic G, Gendreau M, Potvin J. "Intelligent freight-transportation systems: Assessment and the contribution of operations research". *Transportation Research Part C*. 2008, Vol.17 p.541-557. (doi:10.1016/j.trc.2008.07.002)
- [2] Ruiz-García L, Barreiro P, Rodríguez-Bermejo J, et al. "Review. Monitoring the intermodal, refrigerated transport of fruit using sensor networks". *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2007, Vol. 5(2) p.142-156. ISSN: 1695-971-X
- [3] Ichoua S, Gendreau M, Potvin J. "Planned route optimization for real-time vehicle routing". *Dynamic fleet Management: Concepts, Systems & Case Studies*. New York: Springer. 2007, Vol.38 p 1-18. (doi:10.1007/978-0-387-71722-7\_1)
- [4] Potvin J, Xu Y, Behyahia I. "Vehicle routing and scheduling with dynamic travel times". *Computers & Operations Research*. 2004, Vol. 33 p. 1129-1137. (doi:10.1016/j.cor.2004.09.015)
- [5] Topaloglu H. "A parallelizable dynamic fleet management model with random travel times" *European Journal of Operational Research*. 2005, Vol. 175 p. 782-805. (doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2005.06.024 )
- [6] Lancioni R, Smith M, Oliva T. "The role of internet in supply chain management". *Industrial Marketing Management*. 2000, Vol. 29 p.45-56. (PII S0019-8501(99)00111-X)
- [7] Swenseth S, Godfrey M. "Incorporating transportation costs into inventory replenishment decisions". *International Journal of Production Economics*.2002, Vol. 77 p.113-30. (PII: S 0 9 2 5 - 5 2 7 3 ( 0 1 ) 0 0 2 3 0 - 4)
- [8] Wootton JR, García-Ortiz A, Amin SM. "Intelligent transportation systems: a global perspective". *Mathematical and Computer Modelling*. 1995, Vol. 22 p 259-268. (08957177(95)00137-9)
- [9] García-Ortiz A, Amin SM, Wootton, JR. "Intelligent transportation systems: enabling technologies".*Mathematical and Computer Modelling*. 1995, Vol. 22 Nos 4-7 p.11-81. (0895-7177(95)00127-1)
- [10] Perego A, Perotti S, Mangiaracina R. "ICT for logistics and freight transportation: a literature review and research agenda". *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 2011 Vol. 41 p.457- 483. (doi: http://dx.doi.org/10.1108/09600031111138826 )
- [11] Schoeneman JL, Smartt HA, Hofer D. "WIPP transparency project- container tracking and monitoring demonstration using authentication tracking and monitoring systems (ATMS)". 2000, Presented at the Waste Management Conference (WM2k), Tucson, Arizona. Available in www.osti.gov [13 Mar, 2013].
- [12] Gunnarsson M. "Truck-trailer wireless connection". 2001, Master's thesis project. Royal Institute of Technology, Sweden, 56 pp. Available www.imit.kth.se [13 Mar, 2013].
- [13] "TRANSCORE. Electronic container seals field operational test project". Task # 2. Technology Review Report. Northwest International Trade Corridor Program. September 15, 2003. Available in http://depts.washington.edu/trac/tracuw/freight/ [13 Mar, 2013].
- [14] Karkkainen M. "Increasing efficiency in the supply chain for short life goods using RFID tagging".*International Journal of Retail & Distribution Management*. 2003,Vol. 31, p529-536. (doi: http://dx.doi.org/10.1108/09590550310497058 )
- [15] Callaway, EH. "Wireless sensor networks: architectures and protocols". Auerbach Publications, USA. 2004, p342. Available in: http://www.crcnetbase.com/doi/pdfplus/10.1201/9780203500705.fmatt [13 Mar, 2013].
- [16] Fuhr P, Lau R. "Mesh radio network performance in cargo containers". 2005, *Sensors Magazine Online*. Available in http://www.sensormag.com/aerospace-military-hs/homeland-security/mesh-radio-network-performance-cargo-containers-634 [13 Mar, 2013].
- [17] Wang N, Zhang N, Wang M. "Wireless sensors in agriculture and food industry—Recent development and future perspective". *Computers and Electronics in Agriculture*. 2006 Vol. 50 p1-14.( doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2005.09.003 )
- [18] Ngai EWT, Cheng TCE, Au S, et al. "Mobile commerce integrated with RFID technology in a container depot". *Decision Support Systems*. 2007 Vol. 43(1) p62-76. (doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.dss.2005.05.006 )
- [19] Ruiz-García L, Barreiro P,Ruiz-Altisent M. "Sistemas de Control en el Transporte de productos Perecederos". In: I Reunión Científico-Técnica Frutera. Detección de problemas asociados a la calidad: frutas y hortalizas , Septiembre 2009, Sao Paulo, Brasil.
- [20] Wang L, Kwok SK, Ip WH. "A radio frequency identification and sensor-based system for the transportation of food" *Journal of Food Engineering*. 2010, Vol.101 p120-129. (doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.06.020 )
- [21] Raab V, Petersen B, Kreyenschmidt J. "Temperature monitoring in meat supply chains". *British Food Journal*. 2011 Vol.113 No.10 p. 1267-1289. (doi: http://dx.doi.org/10.1108/00070701111177683 )
- [22] Golob TF, Regan AC."Trucking industry adoption of information technology: a structural multivariate probit model". *Transportation Research Part C*. 2002 Vol.10 p.205-228. (PII: S0968-090X(02) 00006-2)
- [23] Karacapilidis N, Lazanas A, Megalokonomos G, et al."On the development of a web-based system for transportation services". *Information Sciences*. 2006 Vol.176 p.1801-1828. (doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2005.05.007 )
- [24] Kia M, Shayan E, Ghotb F. "The importance of information technology in port terminal operations".*International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 2000 Vol.30 Nos 3/4 p.331-44. (MCB University Press, 0960-0035)
- [25] Mason SJ, Ribera PM, Farris JA, et al. "Integrating the warehousing and transportation functions of the supply chain". *Transportation Research Part E*. 2003 Vol.39 p.141-59. (PII: S1366-5545(02)00043-1)
- [26] Jahangirian M, Eldabi T, Naseer A, et al. "Simulation in manufacturing and business: A review". *European Journal of Operational Research*. 2010 Vol.203 p.1-13. (doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2009.06.004 )
- [27] Banks J, Gibson R. "Simulating in the Real World". *IIE Solutions*. 2001 Vol.33,4 p38.
- [28] Sloof M, Tijsskens LMM, Wilkinson EC."Concepts for modeling the quality of perishable products". *Trends in Food Science and Technology*. May 1996 Vol7, p165-171. (PII-S0924-2244(96)30007-1)