

Metodología para la evaluación de alternativas para la mejora de terminales ferroviarias fronterizas de transporte de mercancías

Carlos Mataix Aldeanueva¹, Eva Ponce Cueto¹, José Ángel González¹, Javier Carrasco¹

¹ Dpto. de Ingeniería de Organización, Administración de Empresas y Estadística. Universidad Politécnica de Madrid. C/ José Gutiérrez Abascal, N° 2, 28006, Madrid. carma@ingor.upm.es, eponce@etsii.upm.es.

Resumen

La comunicación que se presenta se ha desarrollado en el marco del trabajo de investigación realizado por los autores en el proyecto INTERFACE, cuyo principal objetivo es contribuir a la mejora de la interoperabilidad en el tráfico intermodal de mercancías en terminales ferroviarias fronterizas. En este proyecto se combina, por una parte, una fase de investigación en la que se conciben sistemáticamente conjuntos de soluciones técnicas y organizativas para resolver problemas específicos de las terminales fronterizas de la red europea de transporte intermodal y, por otra parte, una fase de demostración en la que se pretende aportar evidencia de la viabilidad y el potencial de las soluciones seleccionadas en cada una de las terminales objeto del proyecto. Esto se realiza mediante la implantación parcial de la solución seleccionada, lo que en la terminología del proyecto se ha denominado "demostrador". Concretamente, se han estudiado tres pasos fronterizos: Austria-República Checa; España-Francia; Italia-Suiza. Se ha desarrollado una metodología de evaluación multicriterio y multiactor común a las tres terminales objeto del proyecto y en esta comunicación se presenta su aplicación a la terminal española de Port Bou. La metodología de evaluación propuesta ha facilitado la puesta en práctica de un verdadero proceso de colaboración e intercambio de conocimiento entre distintos actores.*

Palabras clave: Transporte intermodal, interoperabilidad, evaluación multicriterio.

1. Introducción

Desde 1979 se ha abandonado en Europa una media de 600 km de vías ferroviarias cada año, mientras que la red de carreteras ha crecido a un ritmo de 12.000 nuevos km anuales. En el mismo periodo la cuota en el transporte de mercancías por ferrocarril ha descendido desde el 21,1% al 8% (COM, 2001). A la vez que la carretera ha ido tomando un protagonismo cada vez mayor frente a otros modos, la demanda de transporte de bienes se ha incrementado incesantemente, lo cual está congestionando cada vez más las carreteras europeas y, como consecuencia, generando importantes y crecientes problemas económicos, medioambientales y sociales.

Desde la Comisión Europea se han ido sucediendo políticas y programas de apoyo al ferrocarril y, en especial, a su utilización en el transporte de mercancías, con el objeto de contribuir a construir un escenario de movilidad más sostenible en el continente. Así, por ejemplo, en los libros blancos de 1996 (COM 1996) y de 2001 (COM 2001) se recogen un conjunto de medidas dirigidas a crear un sistema de transporte capaz de equilibrar los medios de transporte, entre las que se incluyen aquellas dirigidas a revitalizar el ferrocarril. Más recientemente, el programa Marco Polo (2003-2006) fomenta la transferencia del transporte de mercancías por carretera al transporte por ferrocarril.

Uno de los aspectos esenciales para mejorar la competitividad de la red ferroviaria europea consiste en la mejora de la compatibilidad de las diferentes subredes nacionales, esto es, la capacidad de un tren para circular por cualquier tramo de la red (COM, 2003). Especial interés, en este contexto, tienen determinados puntos de estrangulamiento o cuellos de botella cuya existencia dificulta el tránsito entre subredes.

La comunicación que se presenta se ha desarrollado en el marco del trabajo de investigación realizado por los autores en el proyecto *INTERFACE**, proyecto financiado por el Vº Programa Marco de la Unión Europea, cuyo principal objetivo es contribuir a la mejora de la interoperabilidad en el tráfico intermodal de mercancías en terminales ferroviarias fronterizas.

El proyecto *INTERFACE* combina, por una parte, una fase de investigación en la que se conciben sistemáticamente conjuntos de soluciones técnicas y organizativas para resolver problemas específicos de las terminales fronterizas de la red europea de transporte intermodal y, por otra parte, una fase de demostración en la que se pretende aportar evidencia de la viabilidad y el potencial de las soluciones seleccionadas en cada una de las terminales objeto del proyecto. Esto se realiza mediante la implantación parcial de la solución seleccionada, lo que en la terminología del proyecto se ha denominado “demostrador”. Concretamente, se han estudiado tres pasos fronterizos: Austria-República Checa; España-Francia; Italia-Suiza.

2. Caracterización del problema

Con el propósito de seleccionar las soluciones que componen cada demostrador y de valorar su impacto en los corredores en los cuales se ubican dichas terminales, se identificó la necesidad de desarrollar una metodología de evaluación común a las tres terminales objeto del proyecto. El diseño y la aplicación de dicha metodología ha sido dirigido por los autores de este trabajo y constituye el objeto central de la presente comunicación. Entre las terminales en las que se ha aplicado esta metodología, se ha elegido, para mostrar su aplicación, la terminal española de Port Bou. En los siguientes apartados se incluye, en primer lugar, una breve descripción de dicha terminal y, en segundo lugar, las líneas generales de la solución concebida para la mejora de dicha terminal.

2.1. Principales características del paso fronterizo España-Francia: terminal de Port Bou

La conexión entre la red ferroviaria de la Península Ibérica y el resto de Europa se realiza actualmente a través de dos corredores: uno en el Este, a través del paso Cerbère-Port Bou y otro en el Oeste, a través del paso Hendaya-Irún, de la cordillera pirenaica. En ambos casos el problema principal viene producido por el diferente ancho de vía a ambos lados de la frontera. Este problema convierte a los citados pasos en puntos de estrangulamiento de la red europea, ya que el tiempo necesario para el trasbordo de contenedores retrasa de forma considerable el tiempo de transporte de mercancías.

Existen además otras incompatibilidades entre la red francesa y la española, como es la longitud de los trenes, que mientras en los franceses suele ser de 700 metros, en los españoles no puede superar los 450 metros. Esto hace que los pasos fronterizos sean lugares de descomposición y composición de trenes para adaptarse a las características de cada una de las redes ferroviarias.

*Proyecto de investigación “*INTERFACE*” (*Improvement of Intermodal Terminal Freight Operations at Border Crossing*), financiado por el Vº Programa Marco de la UE, con referencia GRD2–2000–30249, 2002-2005.

Port Bou es una localidad española situada en el Este de la Península Ibérica, junto a la frontera hispano francesa. Su terminal es punto de paso para todas las mercancías que utilizan el llamado corredor del Mediterráneo, que suponen aproximadamente el 60% de todas las mercancías que entran o salen de la Península Ibérica utilizando el ferrocarril. En el año 2004 el volumen de tráfico de mercancías en la terminal de Port Bou fue de 2,8 millones de toneladas.

La terminal ocupa una superficie de 210000 m² y está rodeada por las montañas, lo que hace prácticamente imposible la ampliación de la misma.

A continuación se indican brevemente algunas de las características de los puntos críticos que se detectaron, durante la fase de investigación del proyecto, sobre la planificación del transbordo y de las operaciones que se llevan a cabo en la terminal de Port Bou:

- La información sobre la planificación del transbordo proviene de los operadores logísticos, de SNCF y de RENFE, en diferentes formatos.
- La información adicional que se necesita tiene que ser incluida manualmente una vez que el tren ha llegado a la estación de Port Bou. Por ejemplo, la relacionada con la posición del contenedor en el vagón, la posición de la quinta rueda en los semitrailers, etc.
- El proceso de planificación se realiza manualmente y se basa en la experiencia del planificador.
- El plan de transbordo lo verifica el personal y se basa nuevamente en su experiencia.
- Las instrucciones correspondientes al transbordo se transmiten oralmente por un operario en la zona al operario que está en la grúa, una a una, lo que puede introducir algunos errores y emplear a más personas de las necesarias (además, hay que tener en cuenta las correspondientes consecuencias sobre la seguridad asociadas a esta forma de trabajar).
- Finalmente, se realiza una triple inspección, por parte de RENFE, SNCF, y de los operadores logísticos, dada la falta de confianza en la calidad del proceso.

2.2. Líneas generales de la “solución dedicada” para Port Bou

Las condiciones en las que se realiza el plan y las operaciones de transbordo en la terminal de Port Bou distan bastante de ser las ideales. Además, a medida que el tráfico de mercancías aumenta en la terminal, estas condiciones dificultan aún más las operaciones a realizar.

Para mejorar esta situación, se podrían haber seguido distintas líneas estratégicas de cambio. Entre ellas, se podría incluir, por ejemplo, la construcción de una nueva terminal, pero este tipo de acciones, dada la inversión necesaria para poder llevarlas a cabo, se salían del alcance del proyecto INTERFACE. Teniendo en cuenta ésta y otras restricciones que acompañaban al proyecto, se llegó a la conclusión que los parámetros más apropiados para proponer las mejoras eran aquéllos relacionados con las operaciones de transbordo y con los sistemas de información. De este modo, se seleccionó una línea principal de mejora que abarcara tanto las operaciones y los planes de transbordo, como los sistemas de información relacionados. No obstante, el objetivo del proyecto consistía en optimizar fases concretas de un proceso, sin perder de vista el contexto de dicho proceso o, dicho de otro modo, la línea de mejora a largo plazo.

Dentro de este contexto y del alcance del proyecto, se concibió una única solución específica (*dedicated solution*) para la terminal de Port Bou, y se estructuró en tres etapas sucesivas que constituyen un proceso de mejora continua de la terminal. El “demostrador” que se implantó posteriormente en la fase de demostración del proyecto sirvió como prueba piloto de las etapas 1 y 2.

- **Etapla 1: diseño e implementación de un sistema de ayuda a la decisión para las operaciones y la planificación del transbordo.** Con esto se pretende que la información que proviene de los operadores logísticos, de RENFE y de SNCF (sobre vagones, contenedores y cargas), se transfiera electrónicamente a un ordenador portátil. Además, que aquella información adicional que se necesite, pueda ser incluida directamente mientras se hace el recorrido de control por la vía, y enviada vía *wireless* a la oficina del planificador. Una vez realizada la planificación con ayuda del ordenador, que ésta sea también transmitida electrónicamente al operario que está en la grúa.
- **Etapla 2: Integración de los sistemas de información necesarios para la planificación del transbordo.** Esta etapa pretende ampliar las ventajas de mejora potenciales de la etapa anterior. Se trata de integrar electrónicamente el sistema anteriormente descrito con los diferentes actores que tienen que proporcionar la información necesaria. Esto implicaría integrar los sistemas de información de RENFE con los de SNCF y con los de los operadores logísticos. Esto añadiría nuevas funciones en el sistema de planificación del transbordo, que se representan en la Figura 1.
- **Etapla futura (largo plazo): sistema de apoyo a la decisión para la gestión de la terminal.** Lo logrado en las etapas anteriores serían elementos para integrar dentro de este sistema. Esta etapa estaba fuera del alcance del proyecto y se ha planteado como una de las posibles líneas de continuación.

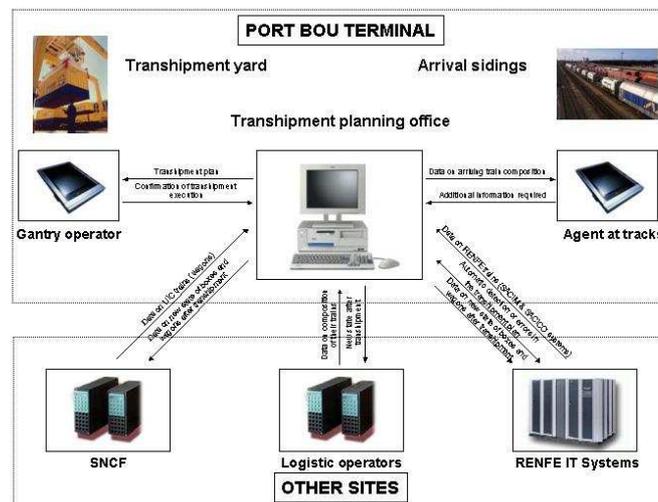


Figura 1. Integración de los distintos sistemas de información necesarios para la planificación del transbordo

3. Metodología de evaluación desarrollada

La evaluación de la solución debía considerar, de forma directa o indirecta, los puntos de vista de múltiples actores (operadores logísticos, gestores de infraestructura, subcontratistas, gobiernos, organizaciones ecologistas...) cuyos intereses eran diferentes y, en ocasiones,

contrapuestos. Asimismo, los resultados de las intervenciones en las tres terminales incluidas en el proyecto INTERFACE debían ser comparables y retroalimentarse mutuamente.

Por estos motivos, se desarrolló una metodología de evaluación común a las tres terminales objeto del proyecto. Su diseño y aplicación fue dirigido por los autores de este trabajo y constituye el objeto central de la presente comunicación.

La metodología desarrollada integraba tres fases complementarias:

- Filtrado. Las soluciones preseleccionadas se someten a una valoración cualitativa de acuerdo con un conjunto de criterios de “elegibilidad” comunes a todas las terminales, EUFRANET (2000).
- Evaluación “ex-ante”. Sobre la base de la técnica AHP (*Analytic Hierarchy Process*) Saaty (1980), se construye un modelo de evaluación para cada una de las soluciones que permite valorar su impacto desde el punto de vista de diferentes actores.
- Evaluación “ex-post”. Una vez implantado el demostrador, el modelo desarrollado en la fase anterior se utiliza para evaluar los resultados obtenidos.

El trabajo presentado en este congreso se centra en mostrar los resultados obtenidos en la segunda fase de esta metodología y, concretamente, su aplicación al paso fronterizo entre España y Francia en la terminal de Port Bou descrito anteriormente.

4. Evaluación “ex-ante”

Para la construcción del modelo se definieron, y consensuaron a lo largo de reuniones y entrevistas, unos criterios de “primer nivel” comunes para todos los puntos fronterizos a estudiar. Estos criterios son: calidad de servicio, QoS (tiempo de transporte, fiabilidad...); gestión y operaciones en la terminal, O&M; seguridad e impacto social, S&F; impacto económico, EI.

El despliegue de estos criterios se hizo, para cada terminal, en función de sus particularidades. A modo de ejemplo, en la Figura 2 se presenta la jerarquía de criterios desarrollada para el caso fronterizo entre Francia y España.

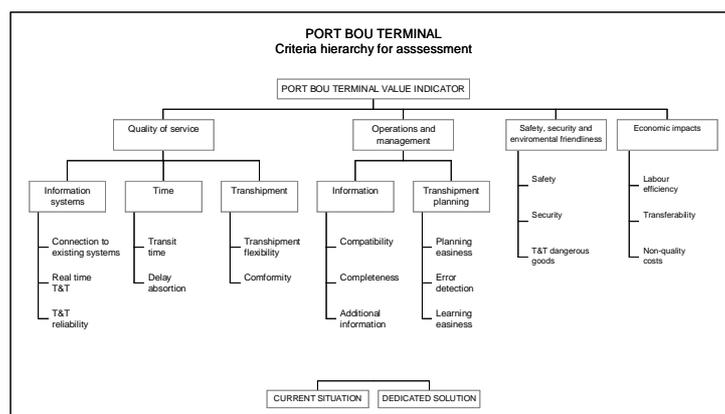


Figura 2. Jerarquía de criterios para el caso de la terminal de Port Bou

4.1. Pesos de los criterios de primer nivel

Mediante la selección de diferentes combinaciones de pesos, se definieron tres escenarios de evaluación:

- Escenario 1: priorizando la calidad del servicio (punto de vista de los “clientes”) sobre los restantes criterios.
- Escenario 2: la mejora de las operaciones y la gestión de la terminal aparece como el criterio con mayor peso (punto de vista de los actores implicados en el funcionamiento de la terminal).
- Escenario 3: un escenario equilibrado.

Los pesos correspondientes a cada escenario se recogen en la tabla siguiente:

Tabla 1: Escenarios

	QoS	O&M	S&F	EI
Scenario 1	0.6	0.2	0.1	0.1
Scenario 2	0.2	0.6	0.1	0.1
Scenario 3	0.3	0.3	0.2	0.2

4.2. Pesos de los criterios de segundo y tercer nivel

Los pesos de los criterios de segundo y tercer nivel se han obtenido, con ayuda del programa “Expert Choice”, mediante comparaciones binarias entre todos los de cada nivel. Algunos de los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.

Tabla 2: Comparaciones binarias y pesos de los criterios de segundo y tercer nivel

QUALITY OF SERVICE			
Information systems	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9		Time
Information systems	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9		Transshipment
Time	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9		Transshipment
Information systems:	0,466	Time:	0,433
		Transshipment:	0,100
QUALITY OF SERVICE > Information systems			
Connection to existing systems	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9		Real time T&T
Connection to existing systems	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9		T&T reliability
Real time T&T	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9		T&T reliability
Connection to systems:	0,667	Real time T&T:	0,167
		T&T reliability:	0,167
QUALITY OF SERVICE > Time			
Transit time	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9		Delay absorption
Transit time:	0,500	Delay absorption:	0,500

4.3. Valoración de las alternativas

La valoración de las dos alternativas consideradas en el demostrador de Port Bou (“situación actual” y “solución dedicada”) en relación con los criterios de nivel inferior, se recogen en la tabla 3. En ella puede observarse cómo se tratan simultáneamente criterios tanto cuantitativos como cualitativos. Las alternativas se califican respecto a éstos últimos mediante comparaciones binarias.

Tabla 3: Valoración de las alternativas

QUALITY OF SERVICE

2 nd	3 rd level	Unit	Current	Solution	Notes (current)	Notes (solution)
Information systems						
	Connection to existing systems	Scale 1 - 9	3	6	RENFE systems integrated: TECO. No integration with SNCF systems	Integration with some logistic operators: in progress
	Real time T&T	Scale 1 - 9	3	6	idem	idem
	T&T reliability	Scale 1 - 9	3	6	Failures due to manual handling of information	Electronic treatment of additional information all along the process
Time						
	Transit time	Minute	438 min	395min (-10%)		
	Delay absorption	(ADTA-ADTD) x 100/ ADTA	40%	60%		T1 and T2 will decrease. Greater decrease if SNCF (no INTERFACE partner) systems integrated
Transshipment						
	Transshipment flexibility	Scale 1 - 9	4	7		
	Comformity	Scale 1 - 9	2	7	Triple inspections (operators, RENFE, SNCF)	

Notes:

TECO: combined transport service of RENFE

ADTA: average delay time at arrival

ADTD: average delay time at departure

T1: time from train arrival to transshipment start

T2: time consumed in transshipment operations

OPERATIONS AND MANAGEMENT

2 nd	3 rd level	Unit	Current	Solution	Notes (current)	Notes (solution)
Information						
	Compatibility of information	Scale 1 - 9	3	7	Good compatibility for RENFE (S-N) trains. Bad for SNCF (N-S) trains.	
	Completeness of information	Scale 1 - 9	3	6	No pre-advise information (N-S trains) for planning purposes	
Transshipment planning						
	Planning easiness	Scale 1 - 9	2	8		
	Error detection	Scale 1 - 9	2	7		
	Learning easiness	Scale 1 - 9	1	7		

SAFETY, SECURITY AND ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS

2 nd level	Unit	Current	Solution	Notes (current)	Notes (solution)
Safety	Hours / day (people in the transshipment yard)	50	30 (-40%)	Triple inspection	Less inspections, less operators in the transshipment yard
Security	Scale 1 - 9	6	7		As a consequence of error filters in planning
T&T of dangerous goods	Scale 1 - 9	3	6	Bad T&T for N-S trains	

ECONOMIC IMPACTS

2 nd level	Unit	Current	Solution	Notes (current)	Notes (solution)
Labour efficiency	Man-hour / (ITU x day)	62	31 (-50%)		
Transferability	Scale 1 - 9	1	7		For CT terminals throughout Spain and Europe
Non-quality costs	Scale 1 - 9	5	7		

4.4. Pesos globales de cada criterio

Los resultados obtenidos en las etapas anteriores correspondientes al primer escenario se presentan conjuntamente sobre el “árbol de criterios” (en la tabla 4 se incluyen los correspondientes al escenario 1). Los pesos globales de cada criterio de segundo y tercer nivel, obtenidos mediante la multiplicación del peso de cada uno de ellos por los pesos de los criterios precedentes en el árbol, de nuevo para el escenario 1, se muestran en la tabla 5.

Tabla 4: Pesos de los criterios en el Escenario 1

Scenario 1						
Quality of service	0,600	Information systems	0,280	Connection to existing systems	0,187	
				Real time T&T	0,047	
				T&T reliability	0,047	
	Time	0,260			Transit time	0,130
					Delay absorption	0,130
	Transshipment	0,060			Transshipment flexibility	0,048
				Comformity	0,120	
Operations and management of the terminals	0,200	Information	0,050	Compatibility	0,010	
				Completeness	0,009	
				Additional information	0,032	
	Transshipment planning	0,150			Planning easiness	0,095
					Error detection	0,026
					Learning easiness	0,029
Safety, security and environmental friendliness	0,100	Safety	0,067			
			Security	0,017		
			T&T dangerous goods	0,017		
Economic impacts	0,100	Labour efficiency	0,067			
			Transferability	0,017		
			Non-quality costs	0,017		

Tabla 5: Pesos globales en el Escenario 1

Criteria	Global weight
Planning easiness < Transshipment facilities < Operations and management	0,285
Additional information < Information < Operations and management	0,095
Learning easiness < Transshipment facilities < Operations and management	0,086
Error detection < Transshipment facilities < Operations and management	0,078
Labour efficiency < Economic impacts	0,067
Safety < Safety, security and environmental friendliness	0,067
Connection to existing systems < Information systems < Quality of service	0,062
Delay absorption < Time < Quality of service	0,043
Transit time < Time < Quality of service	0,043
Compatibility < Information < Operations and management	0,029
Completeness < Information < Operations and management	0,026
Non-quality costs < Economic impacts	0,017
Security < Safety, security and environmental friendliness	0,017
T&T dangerous goods < Safety, security and environmental friendliness	0,017
Transferability < Economic impacts	0,017
Real time T&T < Information systems < Quality of service	0,016
T&T reliability < Information systems < Quality of service	0,016
Transshipment flexibility < Transshipment < Quality of service	0,016
Conformity < Transshipment < Quality of service	0,004

4.5. Resultados de la evaluación “ex-ante”

Cabe interpretar los resultados finales de cada alternativa -suma de las valoraciones de cada una de ellas ponderada por los pesos globales de los criterios de más bajo nivel correspondientes- como una medida del valor relativo de cada alternativa:

Tabla 6: Resultados de la evaluación “ex-ante”

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Current situation	0.360	0.272	0.321
Dedicated solution	0.640	0.728	0.679
% of value increase	78	168	112

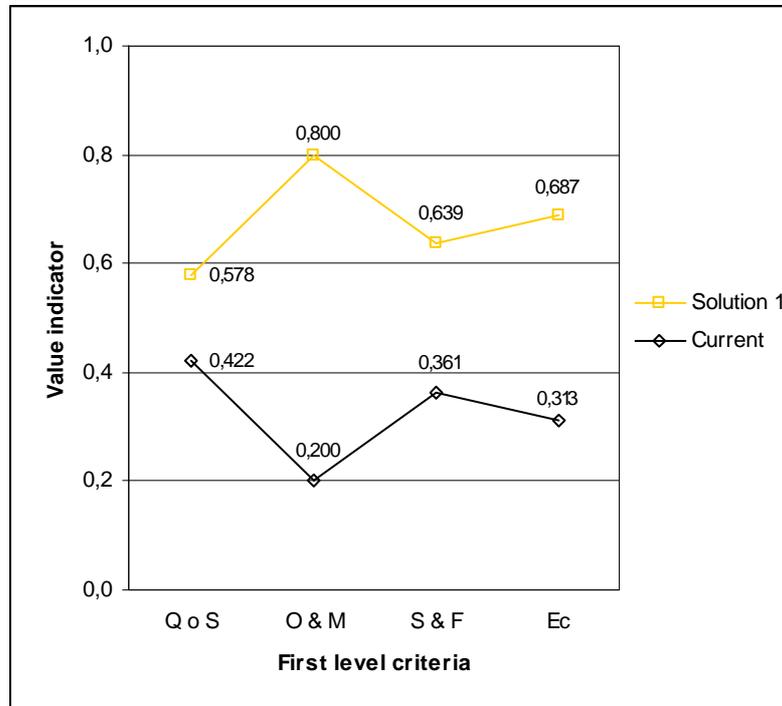
Los resultados obtenidos muestran que el valor esperado de la solución considerada aumenta, en los tres escenarios, de manera significativa respecto a la situación actual. En particular, se obtiene una mayor diferencia positiva en el segundo escenario, que pone el énfasis en la mejora de la gestión de la terminal. Esto es coherente con el enfoque de la solución específica (*dedicated solution*), que se concibió con el principal propósito de mejorar los sistemas de información y de operación de Port Bou.

4.6. Análisis de sensibilidad

Finalmente se realizó un doble análisis de sensibilidad de los resultados obtenidos. En primer lugar se analizó el comportamiento de las alternativas en cuatro casos extremos en los que,

respectivamente, cada criterio de primer nivel tuviera un peso del 100%, esto es, introduciendo combinaciones de pesos (1,0,0,0) -que valoraría exclusivamente las alternativas en términos de calidad del servicio- (0,1,0,0), (0,0,1,0) y (0,0,0,1), respectivamente.

Tabla 7: Análisis de sensibilidad



En segundo lugar, se analizaron los efectos de la variación de los pesos de cada criterio, confirmándose el buen comportamiento de la solución considerada.

5. Conclusiones

La metodología de evaluación propuesta ha facilitado la puesta en práctica de un verdadero proceso de colaboración e intercambio de conocimiento entre distintos actores. De hecho, ha sido utilizada satisfactoriamente como marco de referencia común por los responsables de cada uno de los “demostradores” desarrollados en las distintas terminales, permitiendo la comparación de los resultados obtenidos en cada caso, y facilitando la sistematización de la experiencia y de su potencial aplicación en otros nodos de la red europea.

En particular, los resultados de la evaluación “ex-ante”, en cuya presentación se ha centrado esta comunicación, permitieron apreciar el grado de mejora de las soluciones concebidas para cada terminal y su impacto desde la perspectiva de los principales actores interesados en su mejora. Asimismo, el modelo AHP desarrollado ha constituido el marco de referencia para la realización de la evaluación “ex-post”, una vez implantados y puestos en funcionamiento los demostradores en cada terminal.

Referencias

COM, (1996). A strategy for revitalising the community’s railways. Commission of the European Communities, White Paper. Bruselas.

- COM, (2001). European Transport Policy for 2010: Time to decide. Commission of the European Communities, White Paper. Bruselas.
- COM, (2003). Revitalización de los ferrocarriles europeos. Espacio ferroviario europeo integrado. Comisión Europea, Dirección General de Energía y Transportes. Bruselas.
- EUFRANET (2000). Mataix, C.; Carrasco, J. Final Report for Publication. Cap. 7, pp. 120-127.
- Saaty, T.L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, Nueva York.
- Forman, E.H.; Selly, M.A. (2001). Decision by Objectives. World Scientific.
- Saaty, T.L. (1990). Multicriteria Decision Making. The Analytic Hierarchy Process. RWS Publications. 2nd Edition, Pittsburgh, USA.
- Tam, M.C.Y; Tummala, V.M. (2001). An application of the AHP in vendor selection of a telecommunications system. *Omega*, N°. 29, pp. 171-182.