

Estudio de eficiencia de los centros de intercambio modal

Jesús Muñozuri¹, Alejandro Escudero¹, Ester Gutierrez¹, José Guadix¹

¹ Dpto. de Ingeniería de Organización. Escuela Superior Ingenieros. Universidad de Sevilla. Avd. Descubrimientos s/n 41092. Sevilla. aescudero@esi.us.es, munuzuri@esi.us.es, egm@esi.us.es, guadix@esi.us.es

Palabras clave: Intermodalidad, plataformas logística.

1. Introducción

El desarrollo del transporte intermodal requiere de infraestructuras modales complementarias a las infraestructuras características de los diferentes modos de transporte (carretera, líneas ferroviarias, vías navegables). Estas necesidades de infraestructuras se deben principalmente a la diferencia entre las capacidades de transporte de los diferentes modos, lo que requiere de puntos de concentración y/o distribución de la carga; y a la necesidad de equipamientos para realizar las operaciones de transferencia de la carga de un modo a otro.

El proceso de transferencia de modo y la accesibilidad al nodo logístico suponen dos de los puntos críticos de la cadena logística intermodal. Para que ésta sea eficiente se debe facilitar el flujo de la mercancía eliminando los tiempos de espera y optimizando los movimientos. Dependiendo de las actividades que sean llevados a cabo en los distintos centros de intercambio modal se requerirá de una serie de infraestructuras y tecnologías, con el objetivo de hacer la cadena intermodal lo más fluida y eficiente posible.

El trabajo aquí presentado resume parte de un estudio realizado dentro del ámbito del proyecto Inter-NODAL, financiado por el CEDEX del Ministerio de Fomento. El objetivo principal del artículo es presentar una metodología de evaluación de la eficiencia de los centros intermodales, más aun, determinar las necesidades de infraestructuras físicas y tecnologías de dichos centros. Se ha llevado a cabo un estudio relacional entre tecnologías y actividades en los centros modales, que es presentado en el siguiente epígrafe. Se ha elaborado un listado de indicadores (mostrados algunos en el epígrafe 3) necesarios para la evaluación de las diferentes plataformas, y se han relacionado estos con las tecnologías que lo potencian. Por ultimo, se ha llevado a cabo un análisis de envoltura de datos para la evaluación de las diferentes plataformas existentes en España, el cual está descrito en epígrafe 4. Algunos de los resultados son resumidos en el epígrafe 5.

2. Actividades y tecnologías de los centros intermodales

La actividad de un centro intermodal gira entorno a la terminal intermodal donde se realiza el intercambio y transferencia de las UTIs (unidades de transporte intermodal) entre los distintos modos de transporte (ferrocarril-carretera, marítimo carretera, marítimo-ferrocarril, etc...)

Las principales actividades que se llevan a cabo en estos centros son la recepción de la carga, la carga/ descarga de trenes (estiba/ desestiba de buques), el almacenaje de la mercancía, el despacho de aduanas, la manipulación de la mercancía... estas actividades requieren de unas tecnologías para poder ser llevadas a cabo o simplemente aumentan su eficiencia gracias a

ellas. La tabla 1 muestra la correlación existente entre muchas de las actividades llevadas a cabo en los centros intermodales y las tecnologías existentes.

Tabla 1. Actividades vs. Tecnologías e infraestructuras

	T1: EDI	T2: Portales Telemáticos	T3: Extranet	T4: Fibra Óptica	T5: Software Informático	T6: Ventanilla única	T7: Grúas sobre railes/neumáticos	T8: Grúas pórtico	T9: Grúas level luffing	T10: Apiladora telescópica	T11: Cámara de reconocimiento de caracteres	T12: Tags / RFID	T13: Códigos de barra	T14: GRuas STS	T15: Mafis	T16: Equipos de carga para trenes	T17: AGV's	T18: Seguimiento de contenedores	T19: Grúas RMG	T20: Control Anti-balanceo	T21: Grúas portainer	T22: Grúas Transtainer	T23: Sistemas de ayuda a la navegación	T24: Sistemas de prevención de oleajes	T25: Software de gestión de flotas terrestres	T26: Comunicación cabina empresa	T27: Tarjetas magnéticas de acceso	T28: CCTV	T29: GISPEM	T30: Escáneres	T31: Sistema de bloqueos de railes ferroviarios	T32: GSMR	T33: Sistema de control de tráfico ferroviario	T34: Instalaciones de aduanas	T35: Instalaciones intermodales					
A1: Trayecto en diferentes modos de transporte.	x	x																																						
A2: Aproximación a la terminal.																																								
A3: Entrada en la terminal (mercancía)						x						x	x					x																						
A4: Entrada en la terminal (usuario)													x	x													x	x												
A5: Tramitación de la entrada de la carga	x	x	x		x	x																																	x	
A6: Estiba y desestiba de la carga	x			x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x		x	x	x	x								x										
A7: Transporte interno y manipulación para	x						x	x		x					x	x											x	x												
A8: Gestión de la mercancía almacenada	x	x	x	x	x	x					x	x	x					x	x								x	x	x											
A9: Despacho de aduanas	x	x	x	x	x	x					x	x	x																		x							x	x	
A10: Inspección de la mercancía		x									x	x	x																											
A11: Tramitación de la inspección	x	x	x	x																																				
A12: Vigilancia de la mercancía		x		x							x	x	x																											
A13: Seguimiento de la mercancía	x	x	x	x	x						x	x	x																											
A14: Tramitación a la salida de la carga	x	x	x		x	x																																		
A15: Gestión entre diferentes medios de transporte	x	x	x	x	x	x																																		
A16: Manipulación de graneles líquidos																x																								
A17: Manipulación de graneles sólidos							x	x	x																															
A18: Manipulación de mercancía general y							x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x															

3. Indicadores

Los indicadores son datos que dan una idea de cómo se encuentra un proceso con respecto a algún agente que interviene en él. Para la evaluación de la calidad y la productividad de los

diferentes tipos de terminales (portuarias, ferroviarias, y terrestres) se han definido una serie de indicadores de eficiencia, efectividad y eficacia.

Los indicadores se han clasificado en 4 grupos:

- Indicadores de movimientos de mercancías en las terminales, que describen el reparto modal en la terminal y por tanto grado de éxito de la intermodalidad en la misma (M).
- Indicadores de infraestructuras y equipamiento, que describen los medios con los que cuenta la terminal para realizar sus actividades (I).
- Indicadores económicos, que reflejan los gastos y beneficios que son incurridos por la terminal (E).
- Indicadores de eficiencia de operaciones: miden el tiempo que suele tardar la terminal en realizar una determinada actividad o proceso (EO).

Estos indicadores han sido relacionados con las tecnologías que lo favorecen. Un ejemplo de esta relación se muestra para algunos de los indicadores de las terminales ferropuarias (tabla 2).

Tabla 2. Relación entre indicadores y tecnologías

	T1: EDI	T2: Portales Telemáticos	T3: Extranet	T4: Fibra Óptica	T5: Software Informático	T6: Ventanilla única	T7: Grúas sobre raíles/neumáticos	T8: Grúas pórtico	T9: Grúas level luffing	T10: Apiladora telescópica	T11: Cámara de reconocimiento de caracteres	T12: Tags / RFID	T13: Códigos de barra	T14: GRuas STS	T15: Mafis	T16: Equipos de carga para trenes	T17: AGV's	T18: Seguimiento de contenedores	T19: Grúas RMG	T20: Control Anti-balanceo	T21: Grúas portainer	T22: Grúas Transainer	T23: Sistemas de ayuda a la navegación	T24: Sistemas de prevención de oleajes	T25: Software de gestión de flotas terrestres	T26: Comunicación cabina empresa	T27: Tarjetas magnéticas de acceso	T28: CCTV	T29: GISPEM	T30: Escáneres	T31: Sistema de bloqueos de raíles ferroviarios	T32: GSMR	T33: Sistema de control de tráfico ferroviario	T34: Instalaciones de aduanas	T35: Instalaciones intermodales									
M1: Toneladas movidas en un año.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x		x	x	x	x	x	x											x	x								
M2: N° de buques o trenes de carga que han llegado a la terminal	x	x	x			x								x								x	x	x	x												x							
M3: Toneladas de mercancías por buque o tren.							x	x	x	x				x	x	x	x		x	x	x	x																	x					
M4: Tasa de crecimiento de movimientos de mercancía.	x	x		x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x														x	x				
M5: % Graneles líquidos.							x							x		x																							x	x				
M6: % Graneles sólidos.									x					x		x																								x	x			
M7: % Mercancía general.							x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					x												x	x			
M8: % Mercancía general contenerizada.							x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						x													x	x		
M9: % Mercancías ro-ro.											x	x			x	x																									x	x		
M10: N° vagones entrado/salido de las instalaciones.	x			x						x						x																									x	x		
M11: Días de media que está la carga en los almacenes.	x	x	x	x	x	x																																				x	x	
M12: N° de vehículos en régimen de mercancía.																																												

$$n > \max\{m, s, 3(m + s)\}$$

Donde :

n – DMUs

m – inputs

s – outputs

El análisis de eficiencia se estructuró en dos bloques: uno orientado a evaluar la eficiencia desde el punto de vista de la intermodalidad y otro desde el punto de vista de las operaciones de las terminales. Para cada uno de los bloques las entradas y salidas serán diferentes y dentro de cada caso también variarán éstas para ver como se modifica la eficiencia de cada centro en el desempeño de distintas actividades dentro del mismo. Es decir, cambiando el tipo de entrada y salida la orientación del estudio se puede enfocar a cuestiones financieras, operacionales, etc.

A la hora de evaluar la eficiencia de la intermodalidad en los puertos, se han efectuado 6 análisis (tabla 4) diferentes, las entradas y salidas de cada uno de estos análisis se muestra en la tabla 3. El primero de los análisis, al considerar el tráfico total y el tráfico correspondiente del total que va por ferrocarril, evaluará lo bueno que sea un puerto en el despacho de mercancías vía ferrocarril. El segundo análisis viene a insistir sobre lo mismo pero incluyendo otra salida más, los buques atracados. Habrá que ver como varían las eficiencias de los puertos con respecto a la situación anterior, ya que se refieren a la misma cuestión pero teniendo en cuenta un agente más. El tercer análisis pretende considerar tanto la vía ferroviaria como la carretera. El cuarto análisis solo considera en sus variables actuaciones anteriores a la salida/ entrada de mercancías de los puertos vía terrestre. Tráfico total y buques atracados. Comparando la eficiencia de este análisis con la de los análisis que contemplan acciones portuarias referidas a la salida de mercancías vía terrestre se podrá ver si hay acciones que se realizan mejor o peor en un puerto que hacen que su eficiencia aumente o disminuya. El caso de la carretera tiene una interpretación equivalente al del ferrocarril (análisis 5 y 6).

Tabla 3. Entradas y salidas de los análisis de intermodalidad

ENTRADAS	DESCRIPCIÓN
Aterminal	Área del terminal (m ²)
Lmuelle	Longitud de los muelles (m)
Nremolcad	Número de remolcadores
SALIDAS	DESCRIPCIÓN
Trafico	Tráfico total (miles Tn)
Tferroc	Tráfico por Ferrocarril (miles Tn)
Batracad	Buques atracados
Tcarret	Tráfico por carretera (MILES Tn)

Tabla 4. Análisis de la intermodalidad de los puertos

	ENTRADAS			SALIDAS			PROPÓSITO DEL ANÁLISIS
1A	Aterminal	Lmuelle	Nremolcad	Trafico	Tferroc		Dirigido a ferrocarril
2A	Aterminal	Lmuelle	Nremolcad	Trafico	Tferroc	Batracad	Dirigido a buque> ferrocarril
3A	Aterminal	Lmuelle	Nremolcad	Trafico	Tferroc	Tcarret	Dirigido a reparto ferrocarril/ carretera
4A	Aterminal	Lmuelle	Nremolcad	Trafico	Batracad		Operaciones antes de intermodalidad
5A	Aterminal	Lmuelle	Nremolcad	Trafico	Tcarret		Dirigido a carretera
6A	Aterminal	Lmuelle	Nremolcad	Trafico	Tcarret	Batracad	Dirigido a buque> carretera

A la hora de evaluar la eficiencia de las operaciones se han realizado los 5 análisis mostrados en la tabla 5, cuyas entradas y salidas son mostradas en la tabla 6. Se hará una comparativa de las eficiencias de los puertos respecto al tipo de mercancía transportada para ver como afecta la presentación de ésta en el desempeño de la actividad portuaria. También se abordará un modelo con entradas y salidas de tipo financiero que dejen ver como se comportan los puertos desde este punto de vista.

Tabla 5. Análisis de eficiencia de las operaciones

	ENTRADAS				SALIDAS			ORIENTACIÓN
1B	Aterminal	Lmuelle	Nremolcad	Pestibad	Trafico	Batracad	Teus	Contenedores
2B	Aterminal	Lmuelle	Nremolcad	Pestibad	Trafico	Batracad	Grliq	Granel liquido
3B	Aterminal	Lmuelle	Nremolcad	Pestibad	Trafico	Batracad	Grsol	Granel sólido
4B	Aterminal	Lmuelle	Nremolcad	Pestibad	Trafico	Batracad	roro	Ro-Ro
5B	Aterminal	Inversion	Gastospers	Ventas	Benefbuq	Trafico		Financiero

Tabla 6. Entradas y salidas de los análisis de eficiencia de las operaciones

ENTRADAS	DESCRIPCIÓN
Aterminal	Área del terminal (m2)
Lmuelle	Longitud de los muelles (m)
Nremolcad	Número de remolcadores
Pestibadores	Plantilla de estibadores
Inversión	Inversión autoridades portuarias (mill E) / inmovilizado material, inmaterial y financiero
Gastospers	Gastos de personal (mill E)
Ventas	Ingresos (mill E)
SALIDAS	DESCRIPCIÓN
Trafico	Tráfico total (miles Tn)
Batracad	Buques atracados
Tcarret	Tráfico por carretera (MILES Tn)
Teus	Nº de contenedores equivalentes a 20 pies
Grliq	Granel liquido (miles Tn)
Grsol	Granel sólido (miles Tn)
roro	Tráfico Ro-Ro (miles Tn)
Benefbuq	Beneficios por buque atracado (E/buque)

5. Resultados y conclusiones

Los resultados que se van a mostrar corresponden a la evaluación de los puertos del estado. El hecho de mostrar los puertos y no otro tipo de terminal es debido a la disponibilidad de los datos necesarios para el análisis. Se realizaron los 11 análisis comentados con anterioridad tanto para modelos CCR-output como para modelos BCC output. El resultado que dio cada uno de estos análisis fue del tipo que muestra la tabla 7, donde se muestra los resultados del análisis de eficiencia de la intermodalidad a través del ferrocarril.

Tabla 7. Análisis de la intermodalidad en puertos referido a ferrocarril.

DMU		EFICIENCIA	
		CCR-Output	BCC-Ouput
1	A CORUÑA	1,00	1,00
2	ALICANTE	0,29	0,47

3	ALMERÍA	0,40	0,43
4	AVILÉS	0,44	0,56
5	B.ALGECIRAS	1,00	1,00
6	B.CÁDIZ	0,16	0,17
7	BALEARES	0,49	0,53
8	BARCELONA	0,92	0,92
9	BILBAO	0,92	1,00
10	CARTAGENA	1,00	1,00
11	CASTELLÓN	0,68	0,89
12	CEUTA	0,21	0,24
13	FERROL	0,55	0,83
14	GIJÓN	1,00	1,00
15	HUELVA	0,65	0,71
16	LAS PALMAS	0,68	0,71
17	MÁLAGA	0,85	1,00
18	MARÍN	0,45	0,53
19	MELILLA	0,21	1,00
20	MOTRIL	1,00	1,00
21	PASAJES	0,82	1,00
22	S.C.TENERIFE	0,61	0,68
23	SANTANDER	0,69	0,70
24	SEVILLA	0,76	0,91
25	TARRAGONA	1,00	1,00
26	VALENCIA	0,87	1,00
27	VIGO	0,14	0,15
28	VILLAGARCIA	0,29	1,00

A modo de ejemplo, la figura 1 y 2 muestran los análisis de eficiencia 1A, 2A y 3A. En el primer análisis se observan seis puertos eficientes. Estos seis puertos siguen siendo eficientes en el análisis 2, pero ahora hay tres puertos más que son eficientes. El salto en la eficiencia más significativo lo muestra el puerto de Ceuta de 0.21 a 1.00. En el análisis 3 siguen siendo eficientes todos los puertos del análisis 1, siendo incorporados al grupo de puertos eficientes puertos que tenían eficiencias cercanas a la unidad en el primer análisis, a excepción de Ferrol que pasa de 0.55 a 1.00.

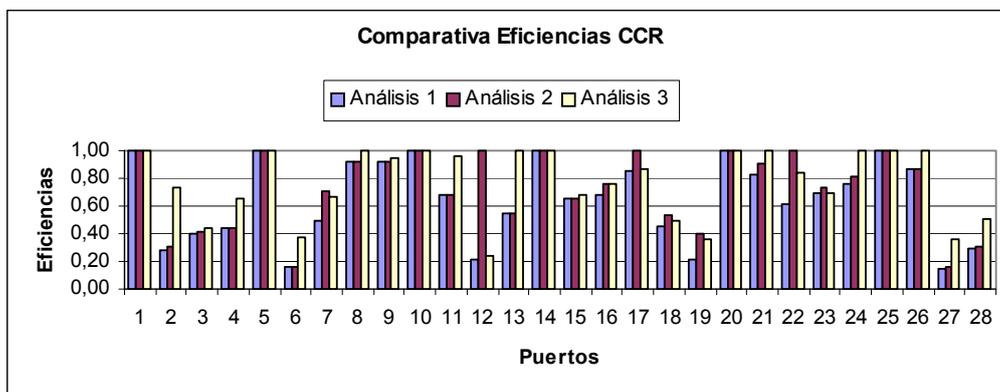


Figura 1. Comparativa análisis intermodalidad por ferrocarril. Modelo CCR.

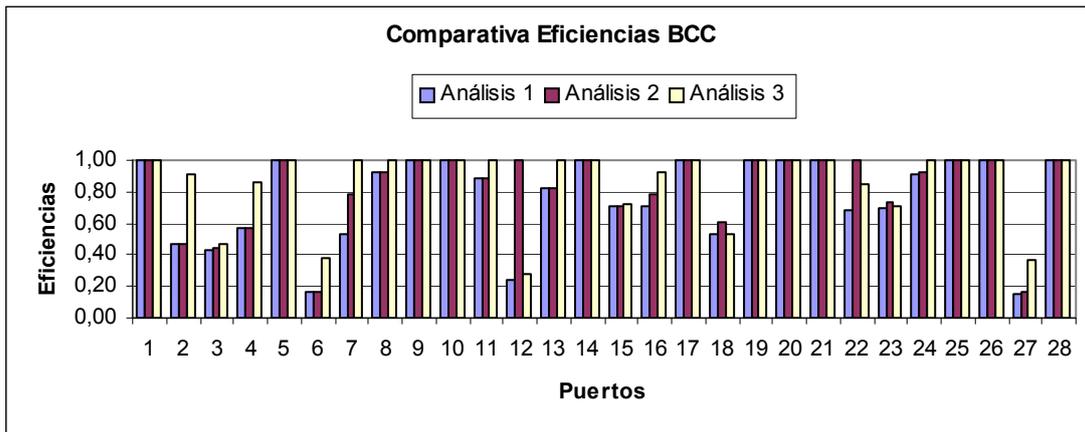


Figura 2. Comparativa análisis intermodalidad por ferrocarril. Modelo BCC.

La figura 3 y 4 muestran los análisis 1B, 2B, 3B, y 4B. Lo que muestra el análisis de la eficiencia de las operaciones dependiendo del tipo de mercancía que sea movida. El análisis muestra que hay puertos mucho más eficientes para un determinado tipo de mercancía, lo que supondrá una especialización del puerto.

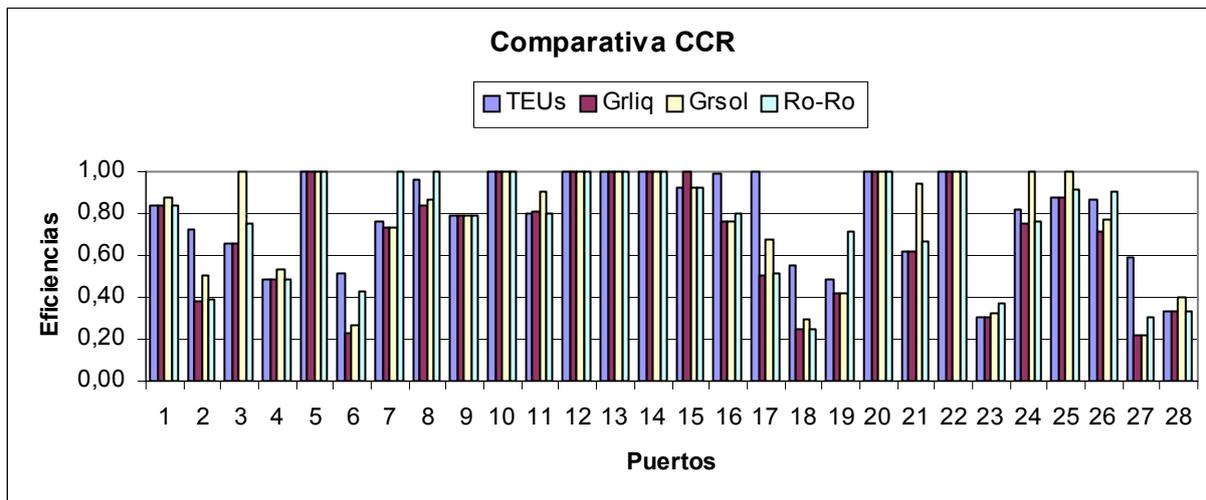


Figura 3. Comparativa análisis eficiencia de las operaciones. Modelo CCR.

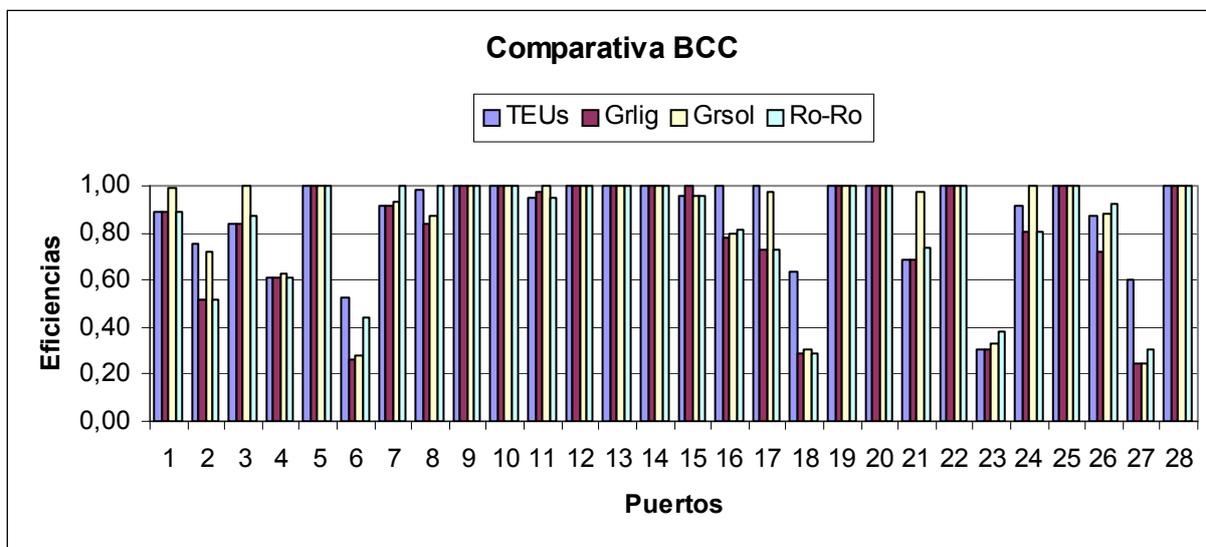


Figura 4. Comparativa análisis eficiencia de las operaciones. Modelo BCC.

Se puede comprobar, que los análisis DEA, son un tipo de análisis eficiente para la valoración de la eficiencia en centros intermodales. Los análisis desarrollados fueron mucho más amplios, aunque aquí solo se hayan mostrado algunos de los mismos.

Agradecimientos

Al CEDEX y al ministerio de fomento por la financiación del proyecto Inter-NODAL de referencia PT-2007-042-15CCSM.

Referencias

(2006). Anuario Estadístico 2006. Puertos del Estado. Ministerio de Fomento

Banker R.D., Charnes A., Cooper W.W., Swarts, J. y Thomas, D.A., (1989). “An Introducción to Data Envelopment Analysis with Some of Its Models and Their Uses”, *Research in Governmental and Nonprofit Accounting*, 5, pp. 125-163.

Banker R.J. y Morey, R. C., (1986). “The use of categorical variables in data envelopment analysis”, *Management science*, 32, 12, pp.1613-1627.

Bardhan, I., Bowlin, W.F., Cooper,W.W., Sueyoshi, T., “Models and Measurement for Efficiency Dominance in DEA. Part I: Additive Models and MED Measures”. *Journal of the Operations Research, Society of Japan*, Vol.39, No 3, September 1996.

Bardhan, I., Bowlin, W.F., Cooper,W.W., y Sueyoshi, T., “Models and Measurement for Efficiency Dominance in DEA. Part II:Free Disposal Hull (FDH) and Russell Measure (RM) Approaches”. *Journal of the Operations Research, Society of Japan*, Vol. 39, No 3, September 1996.

Bowlin, W.F., (1998). “Measuring Performance: An Introduction to Data Envelopment Analysis (DEA)”, Department of Accounting, University of Northern Iowa, Cedar Falls.

Blasco Blasco, O. M^a. y Coll Serrano, V., “Evaluación de la Eficiencia mediante el Análisis Envolverte de Datos. Introducción a los modelos básicos”. Universidad de Valencia.

Cooper, W.W., Seiford L.M. y Tone, K., (2000), “Data Envelopment Analysis. A comprehensive Text with Models, Aplicaciones, References and DEA-Solver Software”. Kluwer Academic Publishers.

Charnes, A., Cooper W. W. y Rhodes E., (1978). “ Measuring Efficiency of Decision Making Units”, *European Lournal of Operationnal Research*, 3,pp. 429-444.

Farrell, M.J.,(1957). “The Measurement of Productive Efficiency”, *Journal of the Royal Statistical Society, Series A.*, 120, 3, pp, 253-290.

Gutiérrez Moya, E. y Arévalo Quijada, M.T., “ La eficiencia técnica del sector eléctrico peninsular español: un análisis del periodo 1998-2001”, Universidad de Sevilla.

Quesada Ibarгүйen, V. M., Larrañeta Astola, J. y Villa Caro, G. “Análisis de Eficiencia en Logística Portuaria mediante DEA”. Departamento de Organización Industrial y Gestión de Empresas. Escuela Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla.

Martinez-Budría, E., Diaz-Armas, R., Navarro-Ibañez,M. y Ravelo-Mesa, T.,(1999), “A study of efficiency of Spanish port authorities using Data Envelopment Analysis”, *International Journal of Transport Economics*, XXVI, 2, 37-53.

Ministerio de Fomento, “Análisis Información y Divulgación Sobre la Aportación del Transporte por Carretera a la Intermodalidad. El Lenguaje del Transporte Intermodal”

Villa Caro, G. y Lozano Segura, S., “Análisis por Envoltura de Datos (DEA): Nuevos Modelos y Aplicaciones”. Departamento de Organización Industrial y Gestión de Empresas. Escuela Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla.