

¿Qué posición ocupa España en la UE-28, desde el punto de vista de la eficiencia medioambiental?

Autores: M.T. Sanz-Díaz (mtsanz@us.es)¹, F. Velasco² y R. Yñiguez³

Departamento: ^{1,3} Análisis Económico y Economía Política. ² Economía Aplicada I

Universidad: Universidad de Sevilla. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

Resumen: La Unión Europea se ha convertido en el grupo de países que más interés está poniendo en la lucha contra el cambio climático y, por tanto, apostando por la reducción de emisiones de gases efecto invernadero. En esta investigación se analiza la eficiencia natural y de gestión, de los 28 países que forman parte de la UE, para el período 2005-2012. La metodología empleada ha sido el cálculo del índice de Malmquist, suponiendo que se produce un cruce en la frontera de eficiencia entre los diferentes períodos considerados. Las variables inputs empleadas han sido la formación bruta de capital, el consumo de energía no emisora y el empleo. En cuanto a las variables output, el PIB y las emisiones de gases efecto invernadero, como output deseable e indeseable, respectivamente.

Los resultados que arroja el análisis indican que la eficiencia España ha empeorado, perdiendo posiciones durante el período considerado, desde cualquiera de los dos enfoques previstos, si bien el retroceso es mayor en el caso de la eficiencia de gestión. En lo que respecta al Índice de Malmquist, durante todo el período se han producido ganancias de productividad en España, si bien el efecto de la crisis económica se ha dejado sentir al reducirse los valores de este índice, siendo la reducción en el enfoque de gestión mayor a la que se ha producido en el enfoque natural.

Palabras Clave: Eficiencia, energía no emisora, emisiones GEI, DEA, Índice de Malmquist.

Clasificación JEL: Q53

1.- Introducción

En la actualidad, un gran número de países tiene como objetivo prioritario el desarrollo sostenible, esto es, maximizar el crecimiento económico minimizando las emisiones de gases de efecto invernadero. En el caso concreto de los países de la Unión Europea (UE) este objetivo se ha reforzado tras la Cumbre del Clima de París, tanto desde un punto de vista interno, como externo, al seguir apoyando la implantación de medidas dirigidas a la reducción de las emisiones y por tanto, la disminución del impacto del cambio climático no sólo dentro de las fronteras de la UE, sino también en los países en desarrollo (Naciones Unidas, 2015).

La contaminación atmosférica ha aumentado de forma considerable desde la era preindustrial hasta nuestros días, impulsada en gran medida, por el crecimiento económico y el de la población (Stern, 2013; Cook *et al.*, 2013; Huamán y Jun, 2014, Revesz *et al.*, 2014; Rafaj *et al.*, 2015; Wiedmann *et al.*, 2015). Esta contaminación procedente de la emisión de gases de efecto invernadero provocará un mayor calentamiento y cambios importantes en determinados elementos del sistema climático, aumentando la probabilidad de ocasionar daños generalizados e importantes en las personas y en los ecosistemas.

La lucha contra el cambio climático, derivado de la contaminación ambiental ha sido un tema de interés preferente en el ámbito de la política de la UE. La preocupación por la protección ambiental se remonta al año 1972 (Knill, and Liefferink, 2013) y viene amparada en los artículos 11 y 191 a 193 del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea (2012). Ya en 2001 se adoptó la Estrategia en favor del desarrollo sostenible (Comisión Europea, 2001), actualizada posteriormente en 2005.

El conjunto de medidas adoptadas por la Unión Europea en relación al clima y la energía, en marzo de 2007 y aprobada por el Parlamento Europeo en diciembre de 2008, se centraron en la reducción de emisiones, en el creciente uso de las energías renovables y en el fomento de la eficiencia energética. Esta iniciativa formalizada en la Directiva 2009/28 fijaba como objetivos nacionales obligatorios: la reducción en un 20% las emisiones de Gases de efecto invernadero (GEI), situar el consumo de energía renovable en el 20 % del consumo total de energía de la UE y que al menos un 10 % de la energía consumida para el transporte fuese renovable, en el año 2020.

En relación a la reducción de emisiones de los GEI, la UE ofreció ampliar la reducción de los mismos al 30 %, si otros países desarrollados acordaran cumplir con su parte de

un esfuerzo global. Por otra parte, en el largo plazo, la UE se ha centrado en la reducción de las emisiones de un 80-95 % por debajo de los niveles de 1990 para el año 2050 (Consejo Europeo, marzo de 2007).

En el año 2013 la cuota de energía renovable de la UE sobre el consumo total de energía rondaba el 15%, lo que supone un 75% de cumplimiento del objetivo propuesto a nivel general en la directiva 2009/28 e incluso varios países habían sobrepasado sus objetivos particulares, como es el caso de Bulgaria, Estonia y Lituania (Eurostat, 2016)

En este contexto, la evaluación ambiental es una técnica de análisis muy utilizada en el ámbito científico relacionado con el estudio y prevención de las consecuencias del cambio climático, en general y de la contaminación, en particular. Este trabajo aplica una metodología de evaluación ambiental, basada en el conocido Análisis de Envolverte de Datos (DEA) sobre los países de la Unión Europea, durante el periodo 2005-2012. En nuestro análisis no hemos considerado a Suecia, ya que su inclusión distorsionaba los resultados del modelo, invalidando la comparación entre el resto de países, dada las peculiares características energéticas de este país escandinavo¹.

El análisis de Envolverte de Datos es considerado como uno de los enfoques de más éxito en el campo de la investigación relativa a la evaluación económica del medio ambiente. (Glover y Sueyoshi, 2009). De hecho, Zhou *et al.* (2008) ha recopilado más de 100 artículos, que aplican el Análisis de Envolverte de Datos en materia de medio ambiente y energía. Dentro de estos estudios, ya desde Färe *et al.* (1989) son muchos los trabajos de esta naturaleza que dividen los output en dos categorías, los deseables y los indeseables, como muestra podemos mencionar los siguientes: Dyckhoff and Allen (2001), Ramanathan (2002), Lansink and Bezlepkin (2003), Korhonen and Luptacik (2004), Liang *et al.* (2004), Triantis and Otis (2004), Zaim (2004), Picazo-Tadeo *et al.* (2005), Kumar (2006), Pasurka (2006), Zhou *et al.* (2008). También en los últimos años son muy numerosos los estudios que siguen este planteamiento, Fare and Groskopf (2010), Liu *et al.* (2010), Zhou *et al.* (2010), Sahoo *et al.* (2011), Zhou *et al.* (2012), Wang *et al.* (2014), Kounetas (2015), Sueyoshi and Goto (2015), Zhang *et al.* (2015), Wu *et al.*, (2016), Zografidou *et al.* (2016). En esta línea nuestro trabajo sigue el modelo propuesto por Sueyoshi y Goto (2013, 2015), pero en vez de aplicarlo sobre empresas, utilizamos como unidades de referencia los países de la de la UE. Con este novedoso enfoque queremos contribuir a arrojar luz sobre la importancia de la política

¹ La tasa media del periodo estudiado del consumo de energía renovable sobre el consumo total de energía en Suecia superaba en más de 14 puntos porcentuales al segundo país con esta tasa media más elevada.

seguida por los países de la UE para lograr el objetivo global de alcanzar un crecimiento sostenible, centrándonos en las estrategias basadas en el fomento de las energías no contaminantes (European Commission, 2010).

En nuestro modelo y siguiendo a Woo et al. (2015) utilizamos como input el empleo, el consumo de Energía no emisora y la formación bruta de capital y como output deseable trabajamos con el PIB, mientras que las emisiones de CO₂ es el output indeseable. También se incorpora el índice de Malmquist para examinar la eficiencia natural y de gestión desde un punto de vista dinámico, contemplando la posibilidad de que se produzca un cruce de frontera entre un periodo y otro, debido al progreso tecnológico.

Este trabajo se organiza de la siguiente forma. En la sección 2 se recogen los datos empleados, así como se explica la metodología del Análisis de Envoltura de Datos empleada, basada en la medición de la eficiencia natural y de gestión, y el Índice de Malmquist, asociado a las mismas con cruce en la frontera de eficiencia. En la Sección 3 se analizan los resultados obtenidos, comparando la situación de España con la del resto de países de la Unión Europea. Por último, en la Sección 4 se muestran las conclusiones y posibles implicaciones políticas.

2. - Metodología y Datos

El análisis DEA es una técnica de programación matemática no paramétrica que calcula la frontera de eficiencia, indicando que UD's están en la frontera y cuáles no. En este análisis hemos empleado un modelo radial y con ventanas de dos períodos.

En esta Sección, comenzamos por exponer dos conceptos asociados a la evaluación de la protección medioambiental que derivan de la aplicación de la metodología DEA al medio ambiente y que han sido propuestos por Sueyoshi y Goto (2012a; 2012b; 2012c; 2012d; 2012e; 2013 y 2014) para medir la Eficiencia Natural y de Gestión de diferentes unidades de decisión (UD's).

El primer concepto se refiere a la deseabilidad natural, “natural disposability”, que indica que las UD's consideran que para reducir los output indeseables, hay que reducir el vector de inputs, y paralelamente si es posible aumentar el vector de output deseables (Sueyoshi y Goto, 2012b; 2012c). Por otro lado, la deseabilidad de gestión, denominada “managerial disposability”, indica la situación contraria a la anterior. En este caso, la UD's aumenta el vector de inputs con el objetivo de disminuir el vector de outputs no deseables, para lo que necesita emplear tecnología innovadora que produzca este hecho; y paralelamente si es posible aumentar el vector de output deseables.

Con el objetivo de describir el concepto de desechabilidad natural y de gestión mediante una expresión axiomática, hemos de considerar $X \in R_m^+$ como el vector de inputs, $G \in R_s^+$ como el vector de output deseables y $B \in R_h^+$ como el vector de output no deseables. Todos ellos son vectores columnas, con todos los componentes positivos.

El concepto de desechabilidad natural y de gestión es especificado por los siguientes vectores de factores de producción, respectivamente, bajo Rendimientos a escala constantes y Daños a escala constantes (los daños a escalas son el concepto económico paralelo a los rendimientos a escala para el caso de los output no deseables):

$$P^n(X) = \left\{ (G, B); G \leq \sum_{j=1}^n G_j \lambda_j; B \geq \sum_{j=1}^n B_j \lambda_j; X \geq \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j; \lambda_j \geq 0, j = 1, \dots, n \right\}$$

$$P^m(X) = \left\{ (G, B); G \leq \sum_{j=1}^n G_j \lambda_j; B \geq \sum_{j=1}^n B_j \lambda_j; X \leq \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j; \lambda_j \geq 0, j = 1, \dots, n \right\}$$

El concepto de desechabilidad natural y de gestión se analiza en un horizonte temporal mediante los valores del Índice de Malmquist (Sueyoshi 2013, 2014).

“Desechabilidad **natural**”: El índice de Malmquist con frontera de cruce entre dos períodos puede ser especificado con la siguiente expresión:

$$INC_{t-1}^t = \sqrt{\frac{UEN_{t-1}}{IUEN_{t-1 \rightarrow t-1\&t}}} \frac{UEN_t}{IUEN_{t \rightarrow t-1\&t}}$$

El grado de UEN_t de la UD s k -ésima en el período t viene medido por el siguiente modelo bajo la desechabilidad natural:

$$(P1) \text{ Max } \xi + \varepsilon \left[\sum_{i=1}^m R_i^x d_i^x + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b \right]$$

$$\text{s. t. } \sum_{j \in J_t} x_{ijt} \lambda_{jt} + d_i^x = x_{ikt}; \quad \forall k \in J_t; \quad i = 1, \dots, m$$

$$\sum_{j \in J_t} g_{rjt} \lambda_{jt} - d_r^g - \xi g_{rkt} = g_{rkt}; \quad \forall k \in J_t; \quad r = 1, \dots, s$$

$$\sum_{j \in J_t} b_{fjt} \lambda_{jt} + d_f^b + \xi b_{fkt} = b_{fkt}; \quad \forall k \in J_t; \quad f = 1, \dots, h$$

$$\lambda_{jt} \geq 0; \quad j = 1, \dots, n; \quad t = 2, \dots, T; \quad \xi \text{ no restringido}; \quad d_i^x \geq 0; \quad i = 1, \dots, m$$

$$d_r^g \geq 0; \quad r = 1, \dots, s; \quad d_f^b \geq 0; \quad f = 1, \dots, h$$

Donde $R_i^x = (m + s + h)^{-1} (\max\{x_{ij}; j \in J_{t-1} \cup J_t\} - \min\{x_{ij}; j \in J_{t-1} \cup J_t\})^{-1}$

$R_r^g = (m + s + h)^{-1} (\max\{g_{rj}; j \in J_{t-1} \cup J_t\} - \min\{g_{rj}; j \in J_{t-1} \cup J_t\})^{-1}$

$$R_f^b = (m + s + h)^{-1} (\max\{b_{fj}; j \in J_{t-1} \cup J_t\} - \min\{b_{fj}; j \in J_{t-1} \cup J_t\})^{-1}$$

El grado de UEN_{kt} de la UDs k -ésima en el período t es determinado por:

$$UEN_{kt} = 1 - \left[\xi + \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m R_i^x d_i^x + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b \right) \right]$$

El grado de UEN_{t-1} respecto de la UDs k -ésima en el período $t-1$ es medido reemplazando t por $t-1$ en el Modelo (P1).

El grado de $IUEN_{t-1 \rightarrow t-1 \& t}$ respecto de la UDs k -ésima entre dos períodos se determina por el siguiente modelo:

$$(P2) \text{ Max } \xi + \varepsilon \left[\sum_{i=1}^m R_i^x d_i^x + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b \right]$$

s. t. $\sum_{j \in J_{t-1 \& t}} x_{ijt-1} \lambda_{jt-1 \& t} + d_i^x = x_{ikt-1}; \forall k \in J_{t-1}; i = 1, \dots, m$

$$\sum_{j \in J_{t-1 \& t}} g_{rjt-1} \lambda_{jt-1 \& t} - d_r^g - \xi g_{rkt} = g_{rkt-1}; \forall k \in J_{t-1}; r = 1, \dots, s$$

$$\sum_{j \in J_{t-1 \& t}} b_{fjt-1} \lambda_{jt-1 \& t} + d_f^b + \xi b_{fkt} = b_{fkt-1}; \forall k \in J_{t-1}; f = 1, \dots, h$$

$\lambda_{jt-1 \& t} \geq 0; j = 1, \dots, n; t = 2, \dots, T; \xi$ no restringido; $d_i^x \geq 0; i = 1, \dots, m$

$d_r^g \geq 0; r = 1, \dots, s; d_f^b \geq 0; f = 1, \dots, h$

El grado de $IUEN_{t \rightarrow t-1 \& t}$ respecto de la UDs k -ésima entre dos períodos se determina por el siguiente modelo:

$$(P3) \text{ Max } \xi + \varepsilon \left[\sum_{i=1}^m R_i^x d_i^x + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b \right]$$

s. t. $\sum_{j \in J_{t-1 \& t}} x_{ijt} \lambda_{jt} + d_i^x = x_{ikt}; \forall k \in J_t; i = 1, \dots, m$

$$\sum_{j \in J_{t-1 \& t}} g_{rjt} \lambda_{jt} - d_r^g - \xi g_{rkt} = g_{rkt}; \forall k \in J_t; r = 1, \dots, s$$

$$\sum_{j \in J_{t-1 \& t}} b_{fjt} \lambda_{jt} + d_f^b + \xi b_{fkt} = b_{fkt}; \forall k \in J_t; f = 1, \dots, h$$

$\lambda_{jt} \geq 0; j = 1, \dots, n; t = 2, \dots, T; \xi$ no restringido; $d_i^x \geq 0; i = 1, \dots, m$

$d_r^g \geq 0; r = 1, \dots, s; d_f^b \geq 0; f = 1, \dots, h$

“Desechabilidad de gestión”: El índice de Malmquist con frontera de cruce entre dos períodos puede representarse de la siguiente forma:

$$IMNC_{t-1}^t = \sqrt{\frac{UEM_{t-1}}{IUEM_{t-1 \rightarrow t-1\&t}} \frac{UEM_t}{IUEM_{t \rightarrow t-1\&t}}}$$

El grado de UEM_t de la UD s k -ésima en el período t viene medido por el siguiente modelo:

$$(P4) \text{ Max } \xi + \varepsilon \left[\sum_{i=1}^m R_i^x d_i^x + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b \right]$$

$$\text{s. t. } \sum_{j \in J_t} x_{ijt} \lambda_{jt} - d_i^x = x_{ikt}; \quad \forall k \in J_t; \quad i = 1, \dots, m$$

$$\sum_{j \in J_t} g_{rjt} \lambda_{jt} - d_r^g - \xi g_{rkt} = g_{rkt}; \quad \forall k \in J_t; \quad r = 1, \dots, s$$

$$\sum_{j \in J_t} b_{fjt} \lambda_{jt} + d_f^b + \xi b_{fkt} = b_{fkt}; \quad \forall k \in J_t; \quad f = 1, \dots, h$$

$$\lambda_{jt} \geq 0; \quad j = 1, \dots, n; \quad t = 2, \dots, T; \quad \xi \text{ no restringido}; \quad d_i^x \geq 0; \quad i = 1, \dots, m$$

$$d_r^g \geq 0; \quad r = 1, \dots, s; \quad d_f^b \geq 0; \quad f = 1, \dots, h$$

El grado de UEM_{kt} respecto a la UD s k -ésima en el período t se determina por

$$UEM_{kt} = 1 - \left[\xi + \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m R_i^x d_i^x + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b \right) \right]$$

El grado de UEM_{t-1} respecto de la UD s k -ésima en el período $t-1$ es medido reemplazando t por $t-1$ en el Modelo (P4).

El grado de $IUEM_{t-1 \rightarrow t-1\&t}$ de la UD s k -ésima en el período $t-1$ es determinado por el siguiente modelo:

$$(P5) \text{ Max } \xi + \varepsilon \left[\sum_{i=1}^m R_i^x d_i^x + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b \right]$$

$$\text{s. t. } \sum_{j \in J_{t-1\&t}} x_{ijt-1\&t} \lambda_{jt-1\&t} - d_i^x = x_{ikt-1}; \quad \forall k \in J_{t-1}; \quad i = 1, \dots, m$$

$$\sum_{j \in J_{t-1\&t}} g_{rjt-1\&t} \lambda_{jt-1\&t} - d_r^g - \xi g_{rkt} = g_{rkt-1}; \quad \forall k \in J_{t-1}; \quad r = 1, \dots, s$$

$$\sum_{j \in J_{t-1 \& t}} b_{fjt-1 \& t} \lambda_{jt-1 \& t} + d_f^b + \xi b_{fkt} = b_{fkt-1}; \forall k \in J_{t-1}; f = 1, \dots, h$$

$$\lambda_{jt-1 \& t} \geq 0; j = 1, \dots, n; t = 2, \dots, T; \xi \text{ no restringido}; d_i^x \geq 0; i = 1, \dots, m$$

$$d_r^g \geq 0; r = 1, \dots, s; d_f^b \geq 0; f = 1, \dots, h$$

El grado de IUEM_{t → t-1 & t} de la UDs *k*-ésima en el período *t* es determinado por el siguiente modelo:

$$(P6) \text{ Max } \xi + \varepsilon \left[\sum_{i=1}^m R_i^x d_i^x + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b \right]$$

$$s. t. \sum_{j \in J_{t-1 \& t}} x_{ijt-1 \& t} \lambda_{jt-1 \& t} + d_i^x = x_{ikt}; \forall k \in J_t; i = 1, \dots, m$$

$$\sum_{j \in J_{t-1 \& t}} g_{rjt-1 \& t} \lambda_{jt-1 \& t} - d_r^g - \xi g_{rkt} = g_{rkt}; \forall k \in J_t; r = 1, \dots, s$$

$$\sum_{j \in J_{t-1 \& t}} b_{fjt-1 \& t} \lambda_{jt-1 \& t} + d_f^b + \xi b_{fkt} = b_{fkt}; \forall k \in J_t; f = 1, \dots, h$$

$$\lambda_{jt-1 \& t} \geq 0; j = 1, \dots, n; t = 2, \dots, T; \xi \text{ no restringido}; d_i^x \geq 0; i = 1, \dots, m$$

$$d_r^g \geq 0; r = 1, \dots, s; d_f^b \geq 0; f = 1, \dots, h$$

Las variables que se han incluido en el análisis son cinco: tres inputs y dos outputs. Los inputs son el empleo total (en miles de personas), el consumo de energía no emisora, es decir que se incluye el consumo de energía renovable y el consumo de energía nuclear (en miles de Toe) y la FBC deflactada por el HIPC (Índice de precios al consumo armonizado) para cada país y año (en millones de euros) (Eurostat). En cuanto a los outputs se han considerado dos, uno deseable y otro no deseable. El primero de ellos es el GPD en términos constantes, para lo que se ha usado el mismo índice de precios que para deflactar la FBC (expresado en millones de euros) (Eurostat). El output no deseable son las emisiones de GEI (en miles de toneladas equivalentes de CO₂), en este último caso la base de datos empleada ha sido el Banco Mundial.

Como se ha apuntado en el apartado anterior, las variables elegidas están de acuerdo con las seleccionadas en los estudios previos. Concretamente, Woo *et al.* (2015) recoge una buena parte de los artículos publicados con una metodología similar y que utilizan como UDs a países. De forma similar Menegaki (2013), Chang (2014), Kounetas (2015) y Makridou *et al.*, (2016), no incluido en esta revisión de Woo *et al.* (2015), también utiliza similares variables para el análisis de la eficiencia medioambiental en Europa.

El período temporal elegido abarca de 2005 a 2012, la elección de este período viene motivada por incluir un año anterior a la crisis económica mundial y en el que estuvieran la mayor parte de los países del segundo bloque que entraron el uno de mayo de 2004. En lo que se refiere a la elección de 2012 es debida a que es el último año disponible en la base de datos empleada (Eurostat y Banco Mundial).

En la Tabla 1 se muestran la media aritmética de las variables consideradas para el período objeto de estudio, más una columna en la que se ha calculado el porcentaje de energía no emisora sobre el total de consumo de energía del país en cuestión. En esta tabla se aprecia como España ocupa exactamente la mitad de la tabla, el puesto 13 en el porcentaje de energía no emisora. Los países que con una posición más destacada son Francia o Finlandia, que superan el 40%.

3.- Resultados y discusión

Este estudio analiza la eficiencia natural y de gestión siguiendo el modelo de Sueyoshi y Gotto (2013), así mismo se analiza la evolución del índice de Malmquist para el período 2005 a 2012 y para todos los países de la UE-28, si bien a la vista de los resultados iniciales y como se ha comentado en la introducción se ha eliminado Suecia.

3.1. Eficiencia natural y de gestión

Como se ha explicado en el apartado de metodología, la eficiencia natural y de gestión, asociadas a la existencia de outputs deseables y no deseables indican el grado en el que los países intentan cumplir las denominadas por Sueyoshi y Goto (2013) estrategias “natural disposability” y “managerial disposability”.

Tabla 1. Media aritmética de las variables por países para el periodo 2005-2012.

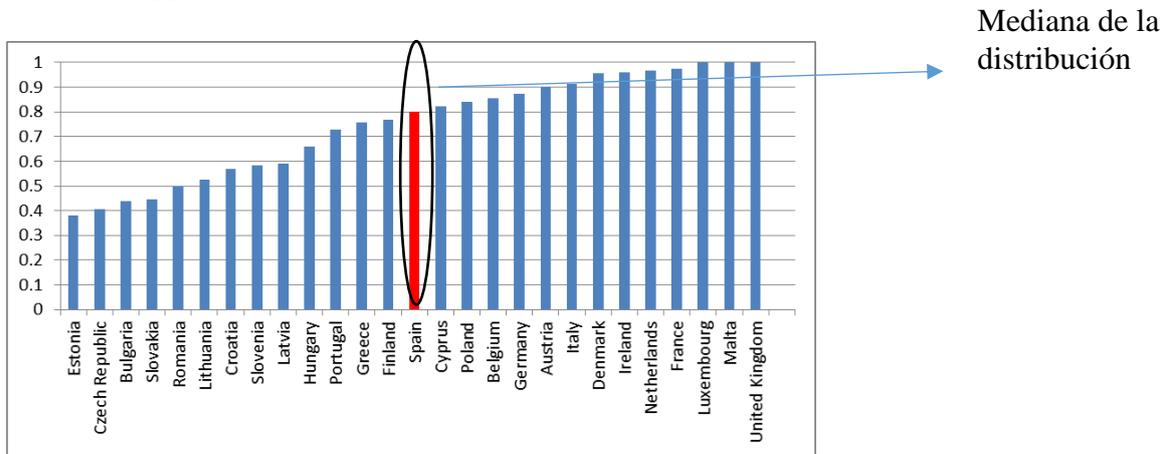
PAISES	EMPLEO	CONSUMO ENERGIA		FBC	GDP	EMISIONES
		NO-EMISORA	% ENERGIA NO-EMISORA			
France	27268	130461	48.95	477012	2121651	531416
Finland	2497	14856	41.40	48017	209140	79130
Slovenia	961	2417	33.04	9601	38663	22159
Lithuania	1356	2644	32.44	7205	32681	26275
Latvia	956	1470	31.79	6505	22706	14038
Slovakia	2330	5238	29.35	16083	66180	48275
Bulgaria	3620	5477	28.69	10060	38895	69582
Austria	4038	8407	24.93	73659	324766	93384
Belgium	4501	14218	24.56	88855	391941	135071
Czech Reput	4980	9465	21.27	44586	161274	144548
Hungary	3831	5468	21.05	26414	118638	69254
Romania	9444	7624	20.08	43979	149149	130922
Spain	20014	27104	19.82	303078	1148030	392695
Croatia	1655	1763	18.41	11843	48774	31238
Germany	40652	60351	18.21	547270	2763112	965089
Portugal	4964	4529	18.07	39165	187073	78555
Denmark	2769	3448	17.65	53663	257248	63693
Estonia	622	704	11.98	5363	18160	21789
United Kingd	29306	23724	10.99	387420	2310932	618455
Italy	24599	19235	10.67	359477	1756872	517440
Greece	4631	1931	6.40	47970	233692	113564
Poland	15281	6202	6.38	77800	371256	418320
Netherlands	8617	4007	4.84	140698	676900	206635
Ireland	1978	589	3.92	44259	184654	67082
Cyprus	392	92	3.40	4363	19415	8285
Luxembourg	213	116	2.51	8324	41930	12954
Malta	161	4	0.38	1394	6905	2444

Fuente: Datos de Eurostat y Banco Mundial.

Ambas estrategias persiguen aumentar el output deseable y reducir el output indeseable. Mientras la *natural disposability* se basa en la reducción de los inputs, la *managerial disposability* se centra en la mejora de la tecnología para conseguir sus objetivos, incluso aumentando los inputs.

En base a esto en las Fig. 3 a 6 presentamos la eficiencia natural y de gestión para el primer año del estudio y para el último para todos los países implicados, de esta forma se aprecia el cambio de los diferentes países en el período, en rojo hemos señalado la posición de España, para poder apreciar sus cambios de posición que han sido contrarios, dependiendo del tipo de eficiencia que se considere.

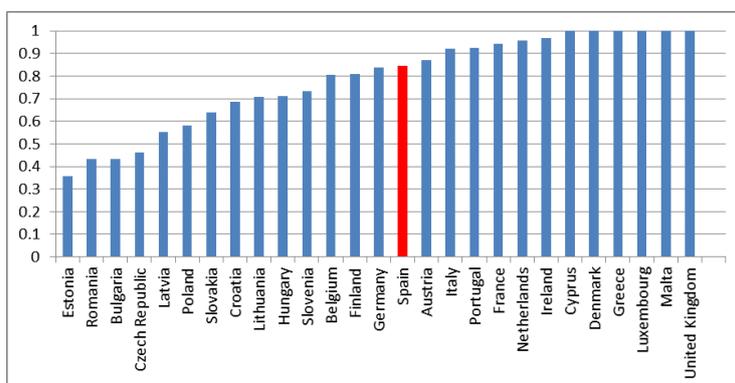
Fig. 3. Comparativa de la eficiencia natural de los países considerados en el año 2005.



Fuente: Elaboración propia.

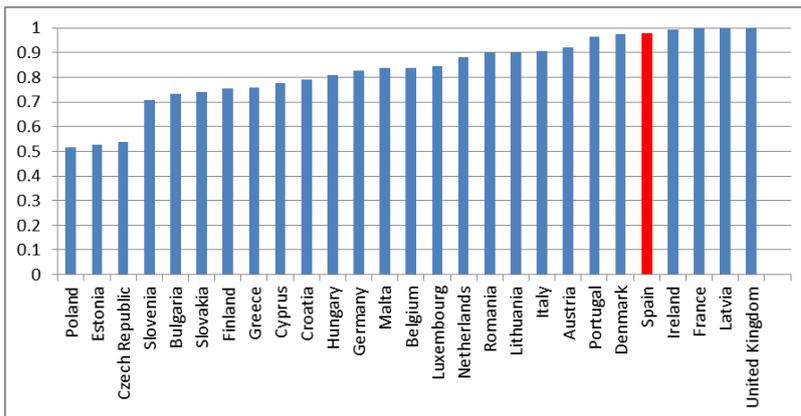
En el caso de la eficiencia natural, España ha pasado del puesto 14 al 13, es decir, ha mejorado su puesto dentro del bloque de los países de la UE. Esta mejora se ha debido en parte a su aumento de eficiencia (ver Tabla 2), debido a que estos años han estado marcados por la crisis económica que ha tenido como consecuencia una reducción del PIB, del empleo y del consumo de energía del país. Las mayores mejoras se han producido en países del Este de Europa y en los que han sufrido un mayor impacto de la crisis económica del período, como es el caso de Portugal y Grecia, países en los que se ha producido un retroceso en el PIB mayor que en España, como se aprecia en la Tabla 3.

Fig. 4. Comparativa de la eficiencia natural de los países considerados en el año 2012.



Fuente: Elaboración propia.

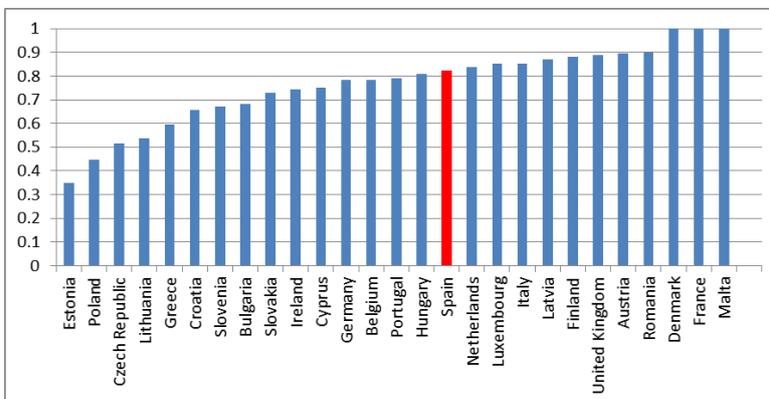
Fig. 5. Comparativa de la eficiencia de gestión de los países considerados en el año 2005.



Fuente: Elaboración propia.

De otra parte, esta mejora de posición se ha debido al empeoramiento de países como Alemania o Bélgica que han reducido su eficiencia a lo largo del período, como se aprecia en la Tabla 2, en la que se refleja como los países más grandes de la UE-27 han empeorado su eficiencia en el período o se han mantenido igual, siendo este caso el de los situados en la frontera de eficiencia o el caso de Italia que ha tenido una leve mejora.

Fig. 6. Comparativa de la eficiencia de gestión de los países considerados en el año 2012.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Eficiencia natural y de gestión de los países considerados en el año 2005 y 2012, y variación en ese período.

PAISES	UEN			UEM		
	2005-06	2011-12	Variación en el período	2005-06	2011-12	Variación en el período
Austria	0.90121029	0.86932555	96.46	0.92067577	0.89504353	97.22
Belgium	0.85644095	0.80726681	94.26	0.83799586	0.78398425	93.55
Bulgaria	0.43738092	0.43242358	98.87	0.73349141	0.68328975	93.16
Croatia	0.56781439	0.68668498	120.93	0.79174851	0.6567619	82.95
Cyprus	0.82055235	1	121.87	0.77764488	0.74957769	96.39
Czech Repub	0.40731134	0.4620897	113.45	0.53721209	0.51647648	96.14
Denmark	0.95724593	1	104.47	0.97712107	1	102.34
Estonia	0.37990647	0.35544575	93.56	0.52839506	0.34799369	65.86
Finland	0.76955698	0.80753004	104.93	0.75652116	0.88257178	116.66
France	0.97264798	0.94343436	97.00	1	1	100.00
Germany	0.87363106	0.83784036	95.90	0.82742149	0.78387358	94.74
Greece	0.7585068	1	131.84	0.75713167	0.59428697	78.49
Hungary	0.65940692	0.71158431	107.91	0.80796056	0.80857308	100.08
Ireland	0.95933859	0.96694776	100.79	0.99394443	0.7443913	74.89
Italy	0.91090765	0.92065239	101.07	0.90540405	0.85355238	94.27
Latvia	0.59211859	0.55055808	92.98	1	0.8716355	87.16
Lithuania	0.52668732	0.70617389	134.08	0.90440913	0.53647111	59.32
Luxembourg	1	1	100.00	0.84576339	0.85289837	100.84
Malta	1	1	100.00	0.83797648	1	119.34
Netherlands	0.96836987	0.95777982	98.91	0.88102648	0.83858147	95.18
Poland	0.84088322	0.58090581	69.08	0.51499413	0.44530169	86.47
Portugal	0.72657189	0.92653369	127.52	0.96524523	0.78989152	81.83
Romania	0.50025553	0.43215202	86.39	0.89819925	0.89769355	99.94
Slovakia	0.44639226	0.63882594	143.11	0.73869385	0.72902137	98.69
Slovenia	0.58161069	0.73178178	125.82	0.70745625	0.67173921	94.95
Spain	0.80159172	0.84519256	105.44	0.97990919	0.82139845	83.82
United Kingc	1	1	100.00	1	0.88661257	88.66

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la eficiencia de gestión, la situación para España es la contraria, si bien sigue la línea de todos los países analizados, a excepción de Hungría, Luxemburgo (sus mejora ha sido casi inapreciables), Finlandia, Dinamarca o Malta.

La posición de España en la evolución de esta eficiencia ha supuesto un retroceso de 7 puestos, debido a la importante caída que ha sufrido, solo superada por los países rescatados Portugal, Grecia e Irlanda, y por países del Este muy pequeños, como son Lituania y Estonia y, la recién incorporada Croacia. En el caso de España este hecho puede deberse a la caída de inversiones en las energías renovables, como se aprecia en la Fig. 9, desde el 2009 (Haas, 2011).

Tabla 3. Tasa de variación durante el período: 2005-2012, de las emisiones de GEI, del consumo de energía no emisora y del PIB.

PAISES	CONSUMO ENERGIA no		
	emisora	GDP	EMISIONES
Austria	0.40	0.08	-0.07
Belgium	0.02	0.05	-0.02
Bulgaria	-0.03	0.20	-0.01
Croatia	-0.06	-0.02	0.02
Cyprus	1.41	0.09	-0.17
Czech Repub	0.35	0.23	-0.06
Denmark	0.47	0.02	-0.17
Estonia	0.46	0.15	0.16
Finland	0.13	0.03	-0.09
France	-0.01	0.04	-0.10
Germany	-0.02	0.05	-0.03
Greece	0.49	-0.22	-0.16
Hungary	0.23	-0.23	-0.17
Ireland	1.13	-0.05	-0.11
Italy	0.69	-0.08	-0.14
Latvia	0.12	0.09	0.05
Lithuania	-0.68	0.15	0.25
Luxembourg	0.94	0.21	-0.06
Malta	22.40	0.18	-0.39
Netherlands	0.40	0.04	-0.10
Poland	0.92	0.27	0.01
Portugal	0.25	-0.08	-0.29
Romania	0.28	0.13	-0.13
Slovakia	-0.01	0.52	-0.05
Slovenia	0.09	0.01	-0.06
Spain	0.38	-0.06	-0.20
United Kingc	0.08	-0.17	-0.11

Fuente. Elaboración propia.

Como se aprecia en la Figura 3 a 6, no hay ningún país que sea eficiente en los dos sentidos durante todo el período, puesto que UK que es eficiente en el sentido natural y comienza el período considerado siendo eficiente en sentido gerencial, empeora su situación al final del período, retrocediendo seis posiciones. En el caso, no se ha producido desacoplamiento, al reducirse no sólo las emisiones, sino también el PIB, y en mayor medida este último (como se aprecia en la Tabla 3).

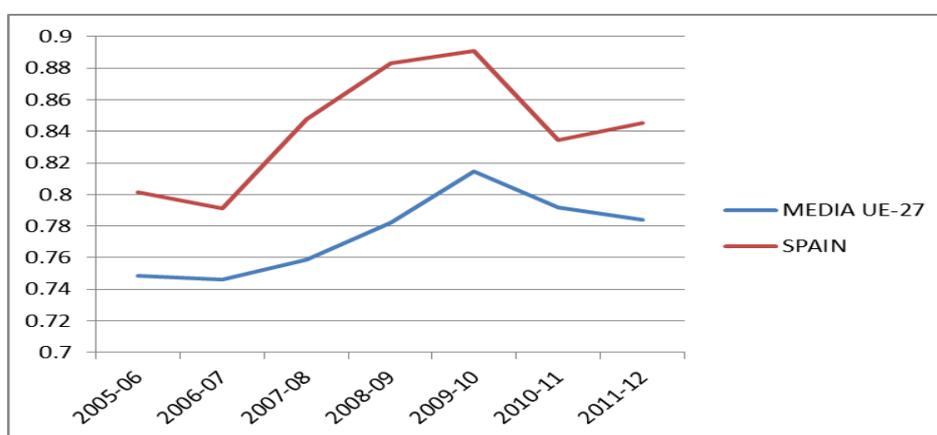
Los otros países que se han mantenido en la frontera de eficiencia desde el punto de vista natural, son UK, Luxemburgo y Malta, los dos últimos han conseguido durante este período desacoplar el crecimiento del PIB de las emisiones, si bien hay que puntualizar que sus economías tienen unos rasgos diferenciadores, puesto que tienen una especialización particular. En el caso de Luxemburgo, el 26.3% (Eurostat, media del período) de su economía está dedicada al sector Financiero y de seguros en el

primero de los casos y en el caso del segundo está especializada en el sector servicios, que supone el 80.6% de su economía.

En este tipo de eficiencia han acabado en la frontera Francia, Dinamarca y Malta. El segundo de ellos ha optado por la imposición sobre las emisiones de carbono y por las energías renovables. El impuesto sobre el carbón lo impuso en el mismo año que Suecia, 1991 (Hammar y Sjöströmb, 2011). En 2012 casi ha alcanzado su objetivo del 30% para 2020. Esto ha provocado que sea uno de los países de la UE-27 que tiene un porcentaje más alto de reducción de las emisiones durante el período objeto de estudio.

Centrándonos en el caso de España se observa que en el caso de la eficiencia natural (Fig. 7), la tendencia es similar a la del resto de países, si bien con una posición superior que se mantiene durante todo el período. La tendencia es alcista hasta 2009, cuando se traslada el impacto de la crisis económica, volviendo a repuntar la eficiencia a partir de 2012. Esta evolución favorable de la eficiencia natural durante los años de recesión tiene su origen en la reducción de gasto público, FBC, salarios y empleo.

Fig. 7. Comparación de la eficiencia natural de España y media de los países de la UE-28 (2005-2012).

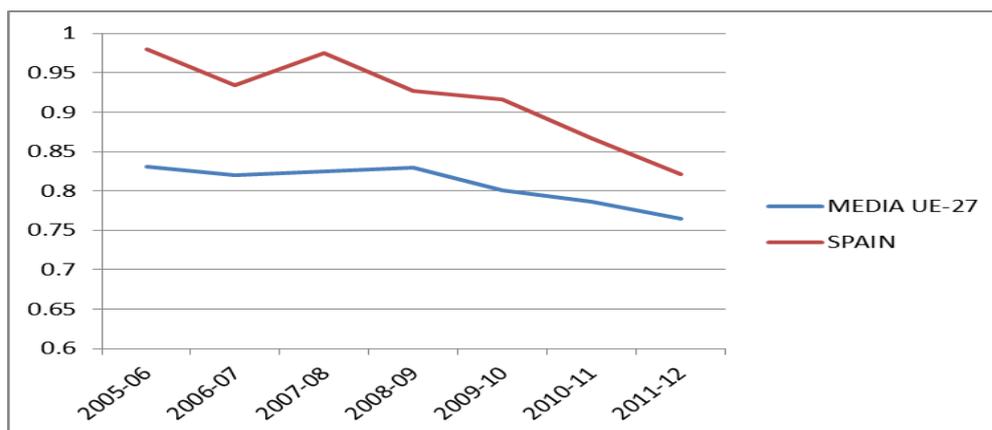


Fuente. Elaboración propia.

El gasto público, en tasa de crecimiento anual se ha estado reduciendo hasta 2011, disminución que alcanzó el -1.1% respecto de 2010 (Eurostat). Una evolución parecida ha tenido la FBC, desde 2007 es decreciente, siendo 2009 el año que cuenta con una tasa de variación negativa más baja, de 19%. En lo que se refiere a la variable salarios, su crecimiento se frenó en España en 2008, llegando a ser -0.5% en 2012, respecto a 2011 (Eurostat). La variable empleo ha sufrido una fuerte reducción durante todo el período, las tasas de crecimiento del desempleo más altas corresponden a los años de 2008 y 2009 (40% y 60%, respecto del año anterior).

La evolución de estas variables, que han caído en mayor medida que el PIB explicarían el crecimiento más fuerte de la eficiencia en ese período, comportamiento que se vuelve a producir en 2012, coincidiendo con un repunte en el crecimiento del desempleo, en este caso de un 16%, respecto de 2011 (INE).

Fig. 8. Comparación de la eficiencia de gestión de España y media de los países de la UE-28 (2005-2012).



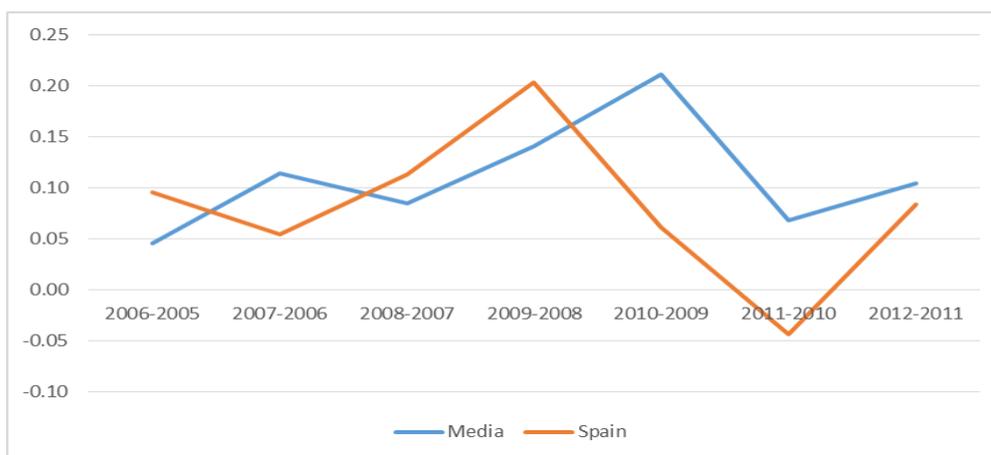
Fuente. Elaboración propia.

En lo que se refiere a la eficiencia de gestión, la tendencia es similar a la de sus socios europeos. Si bien la caída desde 2010 es mucho más acusada en el caso de España, puesto que parte de una posición muy superior a la media, casi una décima y media de diferencia, para terminar el período tan sólo cinco centésimas por encima de la media europea. explicación se puede deber a la caída que ha sufrido en España el porcentaje de energías renovables en el año 2010, siendo la tasa de crecimiento anual de 2011, negativa (ver Fig. 9). En el conjunto de la UE-27 también se produce esta caída, si bien en el caso de España se produce antes y es más acusada.

3.2. Índice de Malmquist

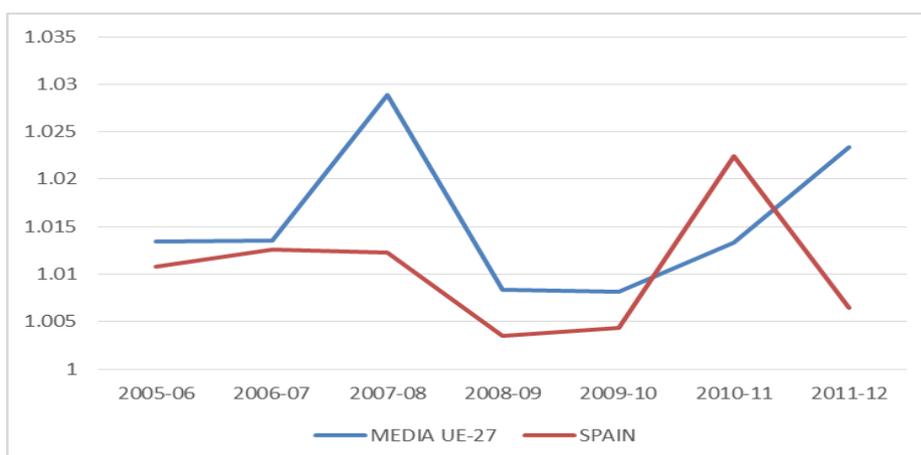
En este apartado vamos a reflejar los resultados del cálculo del Índice de Malmquist (IM) para las dos eficiencias consideradas, natural y de gestión para los 27 países estudiados, y como hemos expuesto en el apartado de metodología hemos supuesto que se puede producir un cruce en las fronteras entre períodos.

Fig. 9. Tasa de crecimiento de las energías renovables en el período 2005-2012.



Fuente: Elaboración propia en base a datos de Eurostat.

Fig. 10. Comparativa del Índice de Malmquist basado en la eficiencia natural de España con la media de los países de la UE27. Período 2005-2012.



Fuente. Elaboración propia.

Como se aprecia en la Fig. 10, España tiene unas ganancias de productividad expresadas por el Índice de Malmquist natural, inferior a la media de la UE-27. En la Tabla 4, se han reflejado los valores de este índice para todo el período y de ella se concluye que España es de los países con valores del índice más bajos para casi todos los años, salvo para los dos últimos (obviando los países eficientes en sentido natural, cuyas ganancias son nulas, puesto que están ya en la frontera de eficiencia).

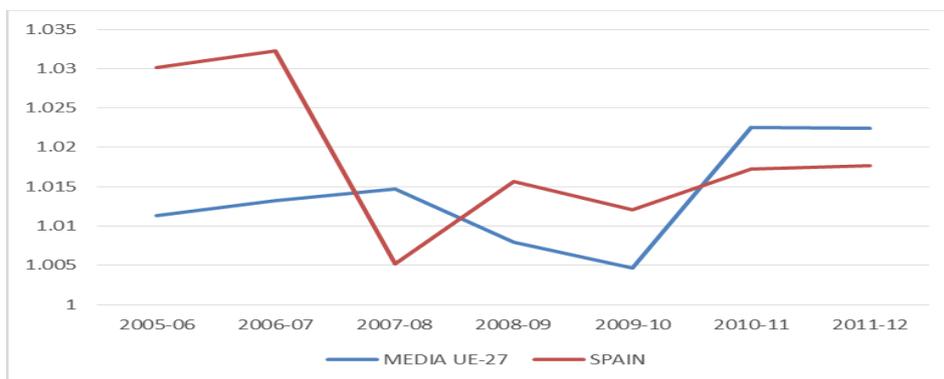
La evolución de este índice para España está relacionado con la evolución de la economía española, diferenciando tres períodos. El primero de ellos, marcado por el crecimiento del PIB, refleja la estabilidad del índice que indica mejoras de productividad muy leves, el segundo período de disminución de la variable PIB, se refleja con una leve caída del índice, que si bien no llega a estancarse. Y el último período, marcado por las políticas de ajuste severas que llevó a cabo nuestro país y las

mayores caídas del PIB, que suponen un repunte en las ganancias de productividad, siendo en el período 2010-2011 el cuarto país con un mayor avance del índice. Este comportamiento coincide con la tendencia descrita en Woo *et al.* (2015), que lo achaca a la crisis económica mundial. Si bien en nuestro trabajo, al diferenciar entre los cambios producidos en la productividad por el enfoque natural y el de gestión, este resultado se suaviza.

Como se aprecia en a Tabla 4, los países de la zona Este de Europa tienen en general índices más elevados, asociados a las tasas de crecimiento del PIB en general más elevadas, como refleja la Tabla 3, en estos casos el aumento de la productividad por el mero hecho de producir más sin valorar más el aspecto medioambiental, hace que el IM sea mayor.

El comportamiento es diferente en el caso del IM basado en el enfoque de gestión, como se aprecia en la Fig. 11, aunque sigue habiendo mejoras en la eficiencia, los valores en general y para la media de la UE27 son más bajos que para el enfoque natural. Como se aprecia en esta gráfica, España comienza el período con ganancias de productividad superiores a los de la media de la UE27, si bien la pérdida de eficiencia de gestión tan acusada provoca que acabe el período por debajo de la media, manteniéndose casi constante el índice en los cuatro últimos años.

Fig. 11. Evolución del Índice de Malmquist basado en la eficiencia de gestión. Período 2005-2012.



Fuente. Elaboración propia.

Tabla 4. Índice de Malmquist natural para el período 2005-2012.

PAISES	2005-06	2006-07	2007-08	2008-09	2009-10	2010-11	2011-12
Austria	1.0099	1.0115	1.0169	1.0058	1.0040	1.0218	1.0249
Belgium	1.0143	1.0152	1.0217	1.0073	1.0080	1.0163	1.0103
Bulgaria	1.0218	1.0483	1.1390	1.0119	1.0131	1.0316	1.2099
Croatia	1.0093	1.0150	1.0357	1.0154	1.0225	1.0014	1.0258
Cyprus	1.0387	1.0094	1.0368	1.0121	1.0085	1.0196	1.0079
Czech Republic	1.0094	1	1.0444	1.0133	1.0210	1.0194	1.0065
Denmark	1.0095	1.0125	1.0094	1	1	1.0064	1
Estonia	1.0147	1.0170	1.0475	1.0097	1.0037	1.0258	1.0030
Finland	1.0140	1.0110	1.0210	1.0076	1.0154	1.0099	1.0028
France	1.0092	1.0108	1.0108	1.0030	1.0034	1.0204	1.0230
Germany	1.0077	1.0166	1.0285	1.0050	1.0088	1.0113	1.0042
Greece	1.0203	1.0205	1.0434	1.0070	1.0134	1.0114	1.0386
Hungary	1.0122	1.0255	1.0340	1.0038	1.0123	1.0033	1.0235
Ireland	1.0207	1.0151	1.0331	1.0044	1.0081	1.0084	1.0137
Italy	1.0187	1.0248	1.0269	1.0029	1.0035	1.0144	1.0052
Latvia	1.0128	1.0147	1.0146	1.0014	1.0068	1.0133	1.0007
Lithuania	1.0167	1	1.0207	1.0026	1.0021	1.0140	1.0948
Luxembourg	1.0188	1	1	1	1.0015	1	1
Malta	1	1	1	1	1	1	1
Netherlands	1.0201	1.0177	1.0277	1.0070	1.0032	1.0092	1.0090
Poland	1.0082	1.0219	1.0358	1.0752	1.0032	1.0225	1.0877
Portugal	1	1.0105	1.0411	1.0097	1.0140	1.0123	1.0031
Romania	1.0182	1	1.0160	1.0056	1.0160	1.0179	1.0068
Slovakia	1.0135	1.0213	1.0358	1.0030	1.0023	1.0123	1.0104
Slovenia	1.0126	1.0149	1.0249	1.0093	1.0199	1.0135	1.0120
Spain	1.0108	1.0126	1.0123	1.0035	1.0044	1.0225	1.0064
United Kingdom	1	1	1	1	1	1	1

Fuente. Elaboración propia.

En la Tabla 5 se recogen los resultados para el índice de Malmquist de gestión para todo el período y para los países analizados, en ella se aprecia cómo España partía al principio del período con el mejor resultado del índice de todos los países considerados, y acaba en el último año siendo el tercer país por la cola. De igual forma se aprecia en la tabla 5, que Irlanda tiene un comportamiento similar a España, si bien la caída por el impacto de la recesión en este país supone una mayor caída del índice, pero su recuperación también es más rápida que para el caso de España.

Tabla 5. Índice de Malmquist de gestión para el período 2005-2012.

PAISES	2005-06	2006-07	2007-08	2008-09	2009-10	2010-11	2011-12
Austria	1.0066	1.0153	1.0052	1.0029	1.0015	1.0211	1.0185
Belgium	1.0112	1.0122	1.0079	1.0033	1.0029	1.0221	1.0177
Bulgaria	1.0085	1.0010	1.0029	1.0027	1.0097	1.0297	1.0240
Croatia	1.0118	1.0151	1.0350	1.0161	1.0067	1.0252	1.0292
Cyprus	1.0133	1.0141	1.0257	1.0072	1.0010	1.0171	1.0249
Czech Republic	1.0130	1.0160	1.0256	1.0148	1.0064	1.0269	1.0198
Denmark	1.0026	1.0207	1.0028	1.0046	1.0025	1.0203	1.0227
Estonia	1.0131	1.0161	1.0324	1.0222	1.0066	1.0250	1.0259
Finland	1.0126	1.0134	1.0037	1.0003	1.0015	1.0209	1.0042
France	1.0062	1.0003	1.0000	1.0000	1.0006	1.0167	1.0000
Germany	1.0126	1.0130	1.0078	1.0010	1.0007	1.0202	1.0229
Greece	1.0137	1.0140	1.0179	1.0061	1.0009	1.0195	1.0271
Hungary	1.0118	1.0150	1.0255	1.0124	1.0068	1.0295	1.0240
Ireland	1.0279	1.0393	1.0096	1.0060	1.0041	1.0245	1.0272
Italy	1.0118	1.0124	1.0062	1.0016	1.0007	1.0190	1.0222
Latvia	1.0000	1.0000	1.0000	1.0001	1.0095	1.0299	1.0235
Lithuania	1.0100	1.0039	1.0017	1.0017	1.0117	1.0232	1.0313
Luxembourg	1.0105	1.0121	1.0087	1.0055	1.0037	1.0222	1.0254
Malta	1.0124	1.0142	1.0404	1.0152	1.0000	1.0000	1.0223
Netherlands	1.0100	1.0135	1.0073	1.0034	1.0023	1.0224	1.0256
Poland	1.0123	1.0165	1.0510	1.0265	1.0078	1.0241	1.0351
Portugal	1.0121	1.0141	1.0370	1.0177	1.0058	1.0246	1.0290
Romania	1.0007	1.0017	1.0068	1.0157	1.0059	1.0275	1.0311
Slovakia	1.0093	1.0045	1.0017	1.0015	1.0070	1.0303	1.0179
Slovenia	1.0130	1.0148	1.0226	1.0089	1.0058	1.0290	1.0143
Spain	1.0302	1.0323	1.0052	1.0156	1.0121	1.0172	1.0176
United Kingdom	1.0083	1.0102	1.0070	1.0008	1.0007	1.0194	1.0223

Fuente. Elaboración propia.

4.- Conclusiones

En este trabajo se analiza la eficiencia medioambiental de España desde dos ámbitos diferentes: el enfoque natural y el de gestión. El período considerado abarca los años 2005 a 2012, es decir, dos años antes de la irrupción de la recesión económica y hasta el último año disponible. Para poder evaluar la situación de España se ha tomado como referencia el marco geográfico y económico en el que se encuadra: los países que conforman la EU-28, si bien se ha excluido a Suecia, por distorsionar los resultados.

Las variables empleadas en el análisis se dividen en tres inputs (consumo de energía final no emisora, empleo y FBC) y dos outputs, uno deseable (PIB) y otro no deseable (emisiones de GEI), para poder analizar la eficiencia medioambiental desde estos dos enfoques se ha tomado como referencia la metodología empleada por Sueyoshi y Goto

(2012b; 2012c), y se ha realizado un análisis estático y dinámico en el que se estiman mediante el análisis DEA las estrategias “natural disposability” y “managerial disposability”, así como el Índice de Malmquist, para medir las ganancias en productividad.

La principal característica del período desde el punto de vista económico es la recesión económica mundial, hecho que se ha reflejado en los resultados obtenidos, al igual que el diferente impacto que ha tenido en los países considerados y el efecto de las medidas puestas en marcha en los países más afectados. España ha sido, dentro de la UE, de los países en los que esta recesión se ha desarrollado con mayor fuerza, lo que se refleja en la evolución de los resultados de eficiencia. Los dos enfoques, siguen un comportamiento dispar. La evolución de los valores de estas eficiencias indica que la reducción del número de empleos y de las inversiones y gasto público y la reducción del consumo energético, han hecho que se gane en productividad, manteniendo una tendencia creciente de la eficiencia natural, que a pesar de las caídas en parte del período, el dato final es mejor que el de partida.

La eficiencia de gestión está ligada a las tecnologías más limpias, de forma que se aumente la producción de output deseables, se reduzca la de output indeseable y se aumenten o mantengan los inputs. En este caso, la evolución en España se ha visto muy afectada por la parada en la introducción de las energías renovables y la caída del PIB y las inversiones.

Los resultados para el Índice de Malmquist avalan los resultados de la eficiencia en los dos enfoques, y a pesar de la caída en inversiones en energías renovables y de la recesión económica, las ganancias de productividad no han sufrido estancamiento (no han llegado al valor 1). Si bien las ganancias desde la entrada en escena de la crisis mundial han sido muy leves, terminando el período considerado con cierto repunte en el caso del enfoque de gestión.

Referencias

- Chang, M. C. (2014): “Energy intensity, target level of energy intensity, and room for improvement in energy intensity: An application to the study of regions in the EU”. *Energy Policy*, 67, 648-655.
- Comisión Europea. (2001): Comunicación de la Comisión de 15 de mayo de 2001 «Desarrollo sostenible en Europa para un mundo mejor: estrategia de la Unión Europea para un desarrollo sostenible (Propuesta de la Comisión ante el Consejo Europeo de Gotemburgo)» [COM (2001) 264 final – no publicada en el Diario Oficial].

- Comisión Europea. (2010): Comunicación de la Comisión de 3 de marzo de 2010 Europa 2020: Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador.
- Comisión Europea. (2008): Comunicación de la Comisión, de 13 de noviembre de 2008 - Eficiencia energética: alcanzar el objetivo del 20 %.
- Consejo Europeo de Bruselas (2007): Conclusiones de la Presidencia. 2012. http://eurored.ccoo.es/comunes/recursos/99999/doc1396_Consejo_Europeo_de_Bruselas_8_y_9_de_marzo_2007_Conclusiones_de_la_Presidencia.pdf.
- Cook, J. et al. (2013): “Quantifying the Consensus on Anthropogenic Global Warming in the Scientific Literature.” *Environmental Research Letters* 8 (2): 024024.
- Dyckhoff, H., Allen, K. (2001): “Measuring ecological efficiency with data envelopment analysis (DEA)”. *Eur. J. Oper. Res.* 132, 312–325.
- Fare, R., Grosskopf, S. (2010): “Directional distance functions and slacks-based measures of efficiency”. *European Journal Operational Research*, 200 (1), 320–322.
- Färe, R., Grosskopf, S., Lovell, C. K., y Pasurka, C. (1989): “Multilateral productivity comparisons when some outputs are undesirable: a nonparametric approach”. *The review of Economics and Statistics*, 90-98.
- Glover y T. Sueyoshi (2009): “Contributions of Professor William W. Cooper in Operations Research and Management Science”. *European Journal of Operational Research*, 197 (1), 1–16.
- Hammar, H. y Sjöström, M. (2011): “Accounting for behavioral effects of increases in the carbon dioxide (CO₂) tax in revenue estimation in Sweden”. *Energy Policy*, 29, 6672–6676.
- Haas, R., Panzer, C., Resch, G., Ragwitz, M., Reece, G., y Held, A. (2011): “A historical review of promotion strategies for electricity from renewable energy sources in EU countries”. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(2), 1003-1034.
- IPCC, (2014): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland).
- Knill, C. y Liefferink, D. (2013): “The establishment of EU environmental policy”. *Environmental Policy in the EU: Actors, Institutions and Processes*, 13-31
- Korhonen, P.J., Luptacik, M.(2004): „Eco-efficiency analysis of power plants: an extension of data envelopment analysis”. *Eur. J. Oper. Res.* 154, 437–446.
- Kounetas, K. (2015): “Heterogeneous technologies, strategic groups and environmental efficiency technology gaps for European countries”. *Energy Policy*, 83, 277-287.
- Kumar, S. (2006): “Environmentally sensitive productivity growth: a global analysis using Malmquist–Luenberger index”. *Ecol. Econ.* 56, 280–293.
- Lansink, A. y Bezlepkin, I. (2003): “The effect of heating technologies on CO₂ and energy efficiency of Dutch greenhouse firms”. *Journal of Environmental Management* 68, 73–82
- Liang, L., Wu, D., Hua, Z.(2004): “MES-DEA modeling for analyzing anti-industrial pollution efficiency and its application in Anhui province of China”. *International Journal Global Energy* 22, 88–98.
- Lin, B. y Li, X. (2011): “The effect of carbon tax on per capita CO₂ emissions”. *Energy Policy*, 39, 5137-5146.

- Liu, C.H., Lin, S.J., Lewis, C. (2010): "Evaluation of thermal power plant operational performance in Taiwan by data envelopment analysis". *Energy Policy* 38 (2), 1049–1058.
- Makridou, G., Andriosopoulos, K., Doumpos, M. and Zopounidis, C. (2016): "Measuring the efficiency of energy-intensive industries across European countries". *Energy Policy*, 88, 573-583.
- Menegaki, A.N. (2013): "Growth and renewable energy in Europe: Benchmarking with data envelopment analysis". *Renewable Energy*, 60, 363-369.
- Naciones Unidas, Framework convention on climate change (2015): PARIS AGREEMENT, Conference of the Parties Twenty -first session Paris, 30 November to 11 December 2015, FCCC /CP/2015/L.9 /Rev.1
- Naciones Unidas (2015): Green Climate Fund: Status of Pledges and Contributions made to the Green Climate Fund. Available at: <http://www.greenclimate.fund/documents/20182/24868/Status+of+Pledges+%282015.11.20%29.pdf/1d48072f-9331-4460-8034-3679c8a51791>. Última consulta el 21 de enero de 2016.
- Parlamento Europeo y Consejo Europeo, 2009. Directiva 2009/28/CE de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE, Diario Oficial L140/16 de 5.6.2009.
- Pasurka Jr., C.A. (2006): "Decomposing electric power plant emissions within a joint production framework". *Energy Econ.* 28, 26–43.
- Picazo-Tadeo, A.J., Reig-Martinez, E., Hernandez-Sancho, F. (2005): "Directional distance functions and environmental regulation". *Resources Energy Economics*, 27, 131–142.
- Rafaj, P., Amann, M., Siri, J., y Wuester, H. (2015): "Changes in European greenhouse gas and air pollutant emissions 1960–2010: decomposition of determining factors". En *Uncertainties in Greenhouse Gas Inventories* (27-54). Springer International Publishing.
- Ramanathan, R. (2002): "Combing indicators of energy consumption and CO₂ emissions: a cross-country comparison". *International Journal Global Energy*, 17, 214–227.
- Revesz, R. L., Howard, P. H., Arrow, K., Goulder, L. H., Kopp, R. E., Livermore, M. A., ... y Sterner, T. (2014): "Global warming: Improve economic models of climate change". *Nature*, 508(7495), 173-175.
- Sahoo, B. K., Luptacik, M., y Mahlberg, B. (2011): "Alternative measures of environmental technology structure in DEA: An application". *European Journal of Operational Research*, 215(3), 750-762.
- Sueyoshi, T. y Goto, M., (2012a): "DEA-radial and non-radial models for unified efficiency under natural and managerial disposability: Theoretical extension by strong complementary slackness conditions". *Energy Economics*, 34,(3): 700-713.
- Sueyoshi, T. y Goto, M. (2012b): "DEA-radial measurement for environmental assessment and planning: Desirable procedures to evaluate fossil fuel power plants. *Energy Policy*, 41: 422-432.
- Sueyoshi, T. y Goto, M., (2012c): Environmental assessment by DEA radial measurement: U.S. coal-fired power plants in ISO (Independent System Operator) and RTO (Regional Transmission Organization)". *Energy Economics*, 34 (3): 663-676.

- Sueyoshi, T. y Goto, M., (2012d): “Returns to scale and damages to scale on U.S. fossil fuel power plants: Radial and non-radial approaches for DEA environmental assessment”. *Energy Economics*, 34(6): 2240-2259.
- Sueyoshi, T. y Goto, M., (2012e): “Returns to Scale and Damages to Scale with Strong Complementary Slackness Conditions in DEA Assessment: Japanese Corporate Effort on Environment Protection”. *Energy Economics*, 34 (5): 1422-1434.
- Sueyoshi, T. y Goto, M., (2013): “DEA environmental assessment in a time horizon: Malmquist index on fuel mix, electricity and CO₂ of industrial nations”. *Energy Economics*, 40: 370-382.
- Sueyoshi, T. y Goto, M., 2014: “DEA radial measurement for environmental assessment: A comparative study between Japanese chemical and pharmaceutical firms”. *Applied Energy*, 115: 502-513.
- Sueyoshi, T. y Goto, M. (2015): “DEA environmental assessment in time horizon: Radial approach for Malmquist index measurement on petroleum companies”. *Energy Economics*, 51, 329-345.
- Triantis, K., Otis, P. (2004): “Dominance-based measurement of productive and environmental performance for manufacturing”. *European Journal Operational Research*, 154, 447–464.
- Unión Europea (2012): *Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea*. Diario Oficial n° C 326 de 26/10/2012 p. 0001 – 0390.
- Wang, D., Li, S., Sueyoshi, T.(2014): „DEA environmental assessment on U.S. industrial Sectors: investment for improvement in operational and environmental performance for corporate sustainability”. *Energy Econ.* 45, 254–267.
- Wiedmann, T. O., Schandl, H., Lenzen, M., Moran, D., Suh, S., West, J., & Kanemoto, K. (2015): „The material footprint of nations”. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(20), 6271-6276.
- Woo, C., Chung, Y., Chun, D., Seo, H. y Hong, S. (2015): “The static and dynamic environmental efficiency of renewable energy: A Malmquist index analysis of OECD countries”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 367-376.
- Wu, J. Yin, P., Sun, J., Chu, J. and Liang Liang, L. (2016): “Valuating the environmental efficiency of a two-stage system with undesired outputs by a DEA approach: An interest preference perspective”. *European Journal of Operational Research*, 254 (3), 1047-1062.
- Zaim, O. (2004): “Measuring environmental performance of state manufacturing through changes in pollution intensities: A DEA framework”. *Ecological Economic*, 48, 37–47.
- Zhang, N., Zhou, P., Kung, C.-C. (2015): “Total-factor carbon emission performance of the Chinese transportation industry: a bootstrapped non-radial Malmquist index analysis”. *Renewable Sustainable Energy Review*, 41, 584–593.
- Zhou, P., Ang, B.W., Poh, K.L., (2008): “A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies”. *European Journal Operational Research*, 189, 1–18.
- Zhou, P., Ang, B.W., Han, J.Y. (2010): “Total factor carbon emission performance: a Malmquist index analysis”. *Energy Economics*, 32, 194–201.
- Zhou, P., Ang, B.W., Wang, H., (2012): “Energy and CO₂ emission performance in electricity generation: a non-radial directional distance function approach”. *European Journal Operational Research*, 221, 625–635.

Zografidou, E., Petridis, K., Arabatzis, G., Dey, P. (2016): “Optimal design of the renewable energy map of Greece using weighted goal-programming and data envelopment analysis”. *Computers & Operations Research*, 66, 313-326.