
EFFECTOS DE LA CRISIS ECONÓMICA EN LA EFICIENCIA MEDIOAMBIENTAL UN ANÁLISIS SECTORIAL PARA ESPAÑA BASADO EN UN MODELO DE MULTIPLICADORES

AGUSTÍN VELÁZQUEZ (1)

European Commission

LUIS ENRIQUE PEDAUGA

Universidad de León

BLANCA L. DELGADO-MÁRQUEZ

Universidad de Granada

El concepto de desarrollo sostenible implica el desarrollo de un crecimiento actual sin comprometer las posibilidades de crecimiento de las generaciones futuras (Brundtland Report, 1987). Los impactos sociales y medioambientales causados por las actividades desarrolladas por los seres humanos ha sido objeto de profunda revisión especialmente durante los

últimos años (e.g., Lorek y Spangenberg, 2014). Recientemente, el acuerdo final suscrito – entre otros muchos países, por España - en la Cumbre de París celebrada en diciembre de 2015 señalaba la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), dado que su acumulación en la atmósfera debido a la actividad humana se ha señalado como causa directa del cambio climático (United Nations, 2015).

La urgencia e importancia de alcanzar un crecimiento económico medioambientalmente sostenible hace imprescindible una evaluación sectorial de la situación de emisiones de GEI en España. No obstante, dicha evaluación debe realizarse a través de herramientas analíticas sólidas que permitan el diseño de políticas coherentes con el objetivo a alcanzar y la situación de partida observada.

La Agenda 21, adoptada en 1992 durante la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medioambiente y Desarrollo realizada en Río de Janeiro (Brasil), hizo un llama-

miento para establecer un programa para desarrollar en todos los países sistemas nacionales integrados de contabilidad ambiental y económica (UNCED 1992a; UNCED, 1992b).

En respuesta las citadas demandas de política de la Comisión Mundial sobre el Medioambiente y el Desarrollo –o Comisión Brundtland– (1983-1987) y de la Agenda 21 (1992), se aprobó el Sistema de Cuentas Nacionales de la Organización de Naciones Unidas (ONU) de 1993 (SCN93). No obstante, en este primer paso la metodología a emplear quedó sin concretar, por lo que el año siguiente el denominado Grupo de Londres sobre Contabilidad Ambiental comenzó a impulsar este asunto hasta disponer en 2003 del Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica (SEEA03, por su acrónimo anglosajón). Actualmente, el Marco Central SEEA aprobado por la ONU en 2012 constituye el primer estándar estadístico internacional para la contabilidad ambiental y económica (SEEA Central Framework, 2012).

Este trabajo utiliza la matriz de contabilidad social y cuentas medioambientales (SAMEA en su acrónimo anglosajón). Esta matriz constituye un elemento esencial de la modelización multisectorial de los resultados económicos y medioambientales, y sirve para calcular los denominados «multiplicadores domésticos SAMEA». La literatura ha analizado la eficiencia medioambiental de los diferentes sectores de actividad económica para España. En esta dirección los trabajos de Morilla *et al.* (2007) y Morilla *et al.* (2009) elaborados sobre una SAMEA para España para el año 2000, y el trabajo de Cansino *et al.* (2010) para el período 2002-2007 resultan relevantes para conocer los efectos que las distintas actividades de producción tienen sobre el deterioro medioambiental.

Sin embargo, estas investigaciones no permiten evaluar cómo la actual crisis económica ha impactado sobre la eficiencia medioambiental de cada sector. En este sentido, este trabajo contribuye a completar esta literatura actualizando este análisis con la disponibilidad de datos más actualizada referida a la serie 2008-2013 y desglosándolo para seis GEI que permita un diagnóstico durante el período de la reciente crisis vivida en España.

Para ello, se construye una SAMEA de España basada en el año 2009 y aplicada a las emisiones de GEI, que ha sido realizada a partir de datos oficiales del Instituto Nacional de Estadística (INE). Los resultados de este estudio revelan que existe una tendencia favorable en la mejora de los indicadores de eficiencia medioambiental.

Este trabajo se estructura de la siguiente manera. Primero se detalla la metodología empleada, con especial énfasis en la construcción de la matriz satélite de medio ambiente, los encadenamientos y los multiplicadores, así como en la obtención de los datos. A continuación se ofrece un análisis dinámico de resultados y se desagregan los sectores de la economía española en función de su impacto en el deterioro medioambiental. Finalmente, el cuarto apartado resume las principales conclusiones derivadas del trabajo.

METODOLOGÍA

Se considera la definición de Matriz de Contabilidad Social (SAM, por sus siglas en inglés) que se encuentra presente en el Sistema de Cuentas Nacionales (SCN93) de las Naciones Unidas de 1993, donde en el Capítulo XX afirma que se refiere a «la presentación de las cuentas del SCN mediante una matriz que establece las relaciones entre un cuadro de oferta y utilización y las cuentas de los sectores institucionales». La citada definición se mantiene en el Sistema Europeo de Cuentas Integradas 1995 (SEC95) y en el Manual de Oferta, Uso y Tablas Insumo-Producto (Eurostat, 2008). La metodología presentada utiliza como insumo las estadísticas del SCN presentadas por el INE de España, manteniendo y respetando los resultados obtenidos por el mismo, a la vez que contemplando los procedimientos establecidos en el Manual del SCN de las Naciones Unidas para la construcción de las SAMs.

La SAM está conformada por un mismo número de filas y columnas, determinado por la cantidad de cuentas, productos, actividades, sectores institucionales e instrumentos financieros que se consideren representar en la misma. La cantidad y orden de las filas y columnas es igual, de forma que las intersecciones entre filas y columnas representan las variables del SCN. Las cuentas se presentan en el mismo orden que las cuentas del SCN. Cada una de estas cuentas puede desagregarse en función del objetivo de análisis o investigación que se persiga con la construcción de la SAM. En este sentido la SAM construida dispone información para 32 productos (bienes y servicios), 32 ramas de actividad económica y 5 sectores institucionales, ascendiendo a un total de 127 filas y columnas.

Construcción de las Sub-matrices Satélites de Medio Ambiente

Para la construcción de la SAM de España se utilizaron las estadísticas publicadas por el INE referidas a las tablas de Insumo-Producto y las Cuentas Económicas Integradas de la Economía (CEI). En ese sentido, las bases de datos de información estadística del INE se encuentran representadas en estructura de datos separados por años. Se escogió la información del año 2009 para ser procesada por ser la más reciente disponible en el momento del análisis. Por su lado, las estadísticas referidas a medio ambiente provienen de las Cuentas de emisiones a la atmósfera, base 2010, serie 2008-2013. Las Cuentas de emisiones a la atmósfera presentan los datos sobre las emisiones contaminantes a la atmósfera, de manera compatible con el Sistema de Cuentas Nacionales, registrando los agentes emisores desagregados por ramas de actividad económica (CNAE, 2009) y sector Hogares como consumidores finales. Más específicamente, se dispone de una apertura de 32 ramas de actividad económica y 17 tipos diferentes de emisiones de gases representados en unidades equivalentes de CO₂.

Según las directrices del Protocolo de Kyoto (United Nations, 1997), los principales gases emitidos a la atmósfera causantes del efecto invernadero son el Óxido nítrico (N₂O), los Hidrofluorocarbonos (HFC), los Perfluoro carbonos (PFC), el Hexafluoruro de azufre (SF₆), el Metano (CH₄) y el Dióxido de carbono (CO₂), por lo que esta investigación ha considerado analizar de manera conjunta estos seis gases efecto invernadero (GEI).

De modo similar, este estudio considera que no es correcto construir una medida agregada de las emisiones de GEI, a pesar de que todas pueden ser medidas en unidades físicas comparables como los kilogramos o las toneladas, ya que el efecto invernadero que causa cada uno de estos gases sobre el ambiente no es del todo equivalente. Por lo tanto, es necesario ponderar las emisiones por unos factores de conversión y expresarlos en unidades equivalentes. Por esta razón, siguiendo el consenso general, la agregación de los seis diferentes gases considerados en este estudio viene expresada en toneladas de CO₂ equivalentes dado el Potencial de Calentamiento Global (GWP) (1).

Esta información fue procesada para elaborar sub-matrices satélites para cada año de la serie 2008-2013, así como también el nivel de producción básica a precios básicos de cada rama de actividad para cada año, adaptándola a la estructura de información de la SAM. Con estos elementos de información se construyeron también las sub-matrices de coeficientes técnicos de dichos indicadores físicos de emisiones de GEI, reflejando la relación de emisiones de gases medidos en niveles de CO₂ equivalente por unidad de producción.

Modelo de multiplicadores

Disponer de la estructura de la SAM permite derivar diversos modelos de multiplicadores dentro de la misma analogía de la elaboración del modelo de multiplicadores clásico de insumo-producto desarrollado por Leontief (1940) y extendido, dentro del marco de la SAM, por Pyatt y Thorbecke (1976).

Por su lado, el modelo de multiplicadores contables de la MSC requiere definir las variables o filas y columnas que se considerarán endógenas y exógenas dentro de la matriz. De esta forma, en este trabajo se han incorporado como variables endógenas las contenidas en las cuentas de: «I. Bienes y servicios», «I. Producción», «II.1.1. Cuenta de explotación», «II.1.2. Cuenta de asignación de la renta primaria y II.2. Cuenta de distribución secundaria de la renta» y «II.4. Cuenta de utilización de la renta». Adicionalmente, las variables referidas a las Administraciones Públicas se han considerado variables exógenas. En ese mismo sentido también quedarían como cuentas exógenas las referidas a la Cuenta de Capital y las Cuentas del Resto del Mundo.

Una vez que se dispone de la estructura de la SAM preparada para la generación del Modelo de Multiplicadores se procede de forma análoga al modelo insumo-producto. Primero, se ha de expresar la ecuación del valor bruto de producción (X_i) como la suma de la demanda intermedia (X_{ij}) y la demanda final (Y_j), de la siguiente manera:

$$X_i = \sum_{j=1}^n X_{ij} + Y_j$$

De esta expresión, se ha de derivar la matriz de coeficientes técnicos de la siguiente manera:

$$A = \sigma_{ij} = X_{ij} / X_j$$

Combinando estas dos expresiones podemos re-expresar el valor bruto de la producción en términos de los coeficientes técnicos tal que:

$$X_i = A X_i + Y_j$$

De esta expresión se puede despejar matricialmente el vector para obtener la siguiente expresión:

$$X_i = (I - A)^{-1} Y_j = MaY_j \quad (1)$$

En la ecuación (1) la matriz $Ma = (I - A)^{-1}$ hace referencia a la matriz de coeficientes de requisitos totales, directos e indirectos, conocida como matriz de multiplicadores contables para la SAM. En este sentido, determina el equilibrio total de la producción, ingreso y consumo final ante un cambio en la demanda final definida por el vector Y_j . El análisis de los resultados de los modelos de multiplicadores aquí presentados considera los supuestos que definen los modelos de multiplicadores basados en SAM (Robinson y Roland 1988 y Polo *et al.* 1991).

Una vez obtenidos los multiplicadores, se procede a estimar los encadenamientos parciales de cada cuenta hacia atrás y hacia delante, que permitan realizar un análisis de encadenamientos por actividad económica similar al desarrollado por Velázquez (2003) y bajo el enfoque de la metodología de Rasmussen (1952) y Hirschman (1958) citado en Hernández (2012).

Estos indicadores miden el poder de encadenamiento de los sectores de una economía. Los indicadores de encadenamiento hacia atrás (U_j) determinan el poder de demanda de un sector con respecto a los demás sectores. Por su parte, los indicadores de encadenamiento hacia adelante (U_j) informan sobre el poder de oferta de un sector visto por los demás sectores de la economía. Los indicadores hacia atrás (*backward linkages*) se calculan de la siguiente manera:

$$U_j = (L \cdot j / n) L^* \quad (2)$$

Mientras que los indicadores hacia delante (*forward linkages*):

$$U_j = \frac{L_{i,j}}{L^*} \quad (3)$$

Donde L_{ij} se refiere a los elementos de la matriz Ma , el vector Jj a la suma de las columnas de la matriz L , el vector L_i a la suma de las filas de L , el escalar L^* al valor medio de todos los elementos de L , y en el que los valores medio de los elementos i y j se calculan como $L_{i/n}$ y L_j/n respectivamente.

En términos de interpretación, todos aquellos sectores con $U_j > 1$ están por encima de la media de la economía en términos de la demanda final. Si existen sectores con $U_i < 1$, son aquellos que presentan un fuerte encadenamiento de sus productos y están por encima de la media de la economía.

Los sectores con ambos indicadores mayores que uno ($U_j > 1$ y $U_i > 1$) son considerados como sectores «claves» de la economía. Mientras que son considerados «independientes» en caso de que ambos indicadores sean menores a 1. Por su lado, en el caso de ser más fuerte el encadenamiento hacia atrás ($U_j > 1$ y $U_i < 1$) y se consideran dichas actividades como de «fuerte arrastre», mientras que el caso inverso ($U_j < 1$ y $U_i > 1$) como actividades clasificadas como «base» también llamadas actividades cuello de botella, dado que al

ser su producción muy demandada por muchas actividades, cualquier impacto en ellas puede generar un impacto en muchas de las actividades que requieren sus productos como insumos.

Análisis multinivel del multiplicador medioambiental

La determinación del multiplicador ambiental en el modelo de multiplicadores de la SAM consiste en calcular las emisiones de gases generadas por cada rama de actividad relacionada por una actividad por unidad de producción y/o unidad de demanda final de dicha actividad, bajo el supuesto de existencia de una relación lineal entre las cantidades demandadas de factores de producción (trabajo, capital e inter-industrial) y las emisiones de GEI asociadas a cada tipo de gas (G_j) para cada una de las ramas de actividad económica (ver Puentes, 1993; p. 21). Por lo tanto, podemos asumir que existe una perfecta elasticidad precio de la oferta de insumos primarios tal que:

$$G = \begin{bmatrix} G_{11} & \dots & G_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ G_{61} & \dots & G_{6n} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Donde G_{ij} representa las cantidades de GEI emitidas, expresadas en CO₂ equivalente, por cada tipo de gas i y por cada rama de actividad j ($j = 1, \dots, n$).

Si definimos los coeficientes técnicos de las emisiones de los GEI, sus relaciones técnicas pueden venir expresadas como:

$$g = \frac{G_{ij}}{X_j} \quad (5)$$

donde el elemento G_{ij} recoge la emisión del GEI i resultante de producir una unidad adicional de bienes por el sector j .

Combinando las ecuaciones (4) y (5) tenemos que:

$$G = \begin{bmatrix} g_{11}X_1 & \dots & g_{1n}X_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{61}X_1 & \dots & g_{6n}X_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

Partiendo de la expresión anterior representada en forma matricial, $G = g \cdot X_j$, al incorporar las relaciones definidas en la matriz de multiplicadores expresadas en la ecuación (1) tenemos que:

$$G = g (I - A)^{-1} Y_j = G\alpha Y_j \quad (7)$$

Esta última expresión muestra que la emisión de GEI puede ser expresada como una función de los multiplicadores de las emisiones de GEI, $G\alpha = g (I - A)^{-1}$, y de la demanda final de bienes y servicios, Y_j . Es decir, podemos determinar, mediante el análisis estático comparativo, los cambios en la generación de GEI ante variaciones de la demanda final.

Al considerar que el multiplicador ambiental representa el impacto en las emisiones de un determinado ti-

po de GEI por unidad de demanda de una determinada actividad económica, se esperaría que los efectos en la eficiencia energética fuesen inversamente proporcionales al comportamiento del multiplicador a lo largo del tiempo (Morilla *et al.*, 2007).

Esta investigación pretende evaluar, para cada tipo de GEI y por rama de actividad, si existe un cambio en el patrón de la tendencia temporal de la serie del multiplicador entre 2008 y 2013. Es decir, si a medida que una reducción de la emisión del GEI por unidad de demanda de la actividad, reflejada por cambios en el multiplicador a lo largo del tiempo, se podrían indicar evidencias a favor del incremento o no de la eficiencia medioambiental en el período de estudio.

Dadas las dimensiones que posee el multiplicador (tipos de gases y ramas de actividad), esta investigación especifica un análisis de regresión multinivel que permita controlar por la presencia de correlación entre los niveles de emisión derivados del proceso productivo de las 32 ramas de actividad económicas (nivel 1) y los 6 tipos de GEI considerados (nivel 2). De este modo, el análisis multinivel se estructuró a 2 niveles, para poder analizar el cambio en la tendencia temporal del multiplicador ambiental, debido a que este indicador se encuentra anidado para cada una de las ramas de actividad, y a su vez las ramas de actividades se encuentran anidadas por tipo gas (ver gráfico 1). Por lo tanto, una ecuación de estimación a dos niveles permite especificar la siguiente expresión:

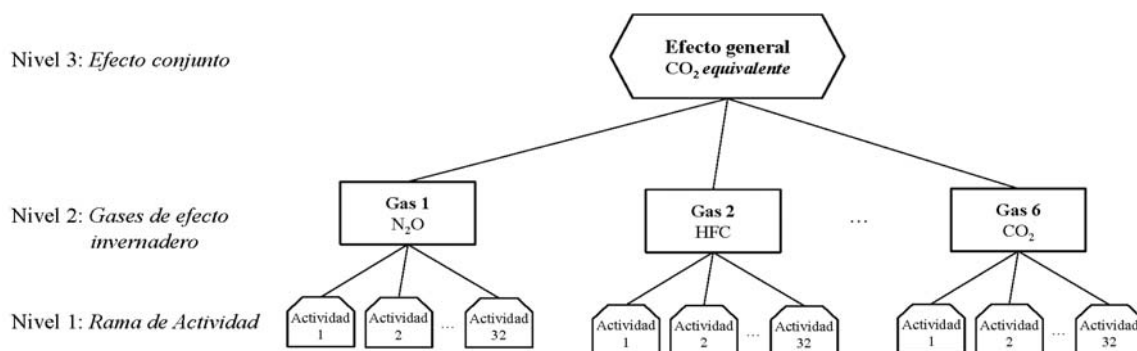
$$\log(G\alpha_{ijt}) = b_{i0} + g_{i1} \cdot trend_{ijt} + g_{i2} \cdot \log(prod)_{ijt} + (n_{jt} \cdot \log(prod)_{jt} + n_{jt}) + u_{it} + e_{ijt}$$

Esta expresión permite plantear las ecuaciones lineales de cada nivel con sus respectivas variables, diferenciando los efectos fijos de los efectos aleatorios. Este procedimiento surge de extender el procedimiento descrito en Raudenbush y Bryk (1986) y Goldstein (1986), en el que las ecuaciones de cada nivel de análisis contienen los términos de error atribuibles a cada uno de los efectos aleatorios considerados, y el residuo de la regresión estimada responde a los supuestos usuales de normalidad. En este sentido, Goldstein (1999) indica que una especificación de este tipo estima correctamente las variables de ambos niveles, junto con un término de error global, ε_{ijt} que aparece descompuesto en v_{jt} (error del nivel de rama de actividad, con distribución $N(0, \sigma_v^2)$), y u_{it} (error atribuido a las variables por tipo de gas, con distribución $N(0, \sigma_u^2)$), y en el que ambos errores guardan independencia entre sí. En el análisis multinivel la estimación de los parámetros (coeficientes de regresión y componentes de la varianza) se realizó a través del método de máxima verosimilitud.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Partiendo de una representación gráfica basada en diagramas de cajas (*boxplot*), podemos realizar un pri-

FIGURA 1
JERARQUÍA DE LOS DATOS EN DOS NIVELES



FUENTE: Elaboración propia.

mer análisis exploratorio de la evolución temporal de la eficiencia energética entre los años 2008 y 2013 para cada uno de los seis componentes de multiplicador (Ga) de eficiencia medioambiental (Figura 2). La ventaja de esta técnica gráfica es que permite representar los aspectos más relevantes de la distribución sin tener que hacer ningún supuesto teórico estadístico sobre la misma, ya que esta técnica es de tipo no paramétrica (Tukey, 1977). En este sentido, el diagrama permite visualizar para cada tipo de GEI ($Ga_1 - Ga_6$), el valor central del multiplicador entre ramas de actividad (mediana), la dispersión central de los valores (distancia entre el cuarto superior e inferior), la simetría de la distribución, así como la presencia de valores extremos a lo largo del tiempo. De manera adicional se señala la participación promedio sobre el total de emisiones para cada tipo de GEI.

La figura 2, en la página siguiente muestra gráficamente el comportamiento del indicador a lo largo del período objeto de análisis. Similar a lo reportado para el período 2002-2007 por Cansino et al. (2012), tres gases son los responsables de más del 97% del total de emisiones de GEI entre 2008 y 2013, en el que el Óxido nítrico (N₂O) representa en promedio 5,4%, el Metano (CH₄) un 10,8% y el Dióxido de carbono (CO₂) un 80,9%. Con respecto a la tendencia, se aprecia en términos visuales que cinco de los seis GEI muestran evidencia de pendiente negativa, hecho que aporta indicios para soportar la hipótesis de la mejora en la eficiencia medioambiental señalada.

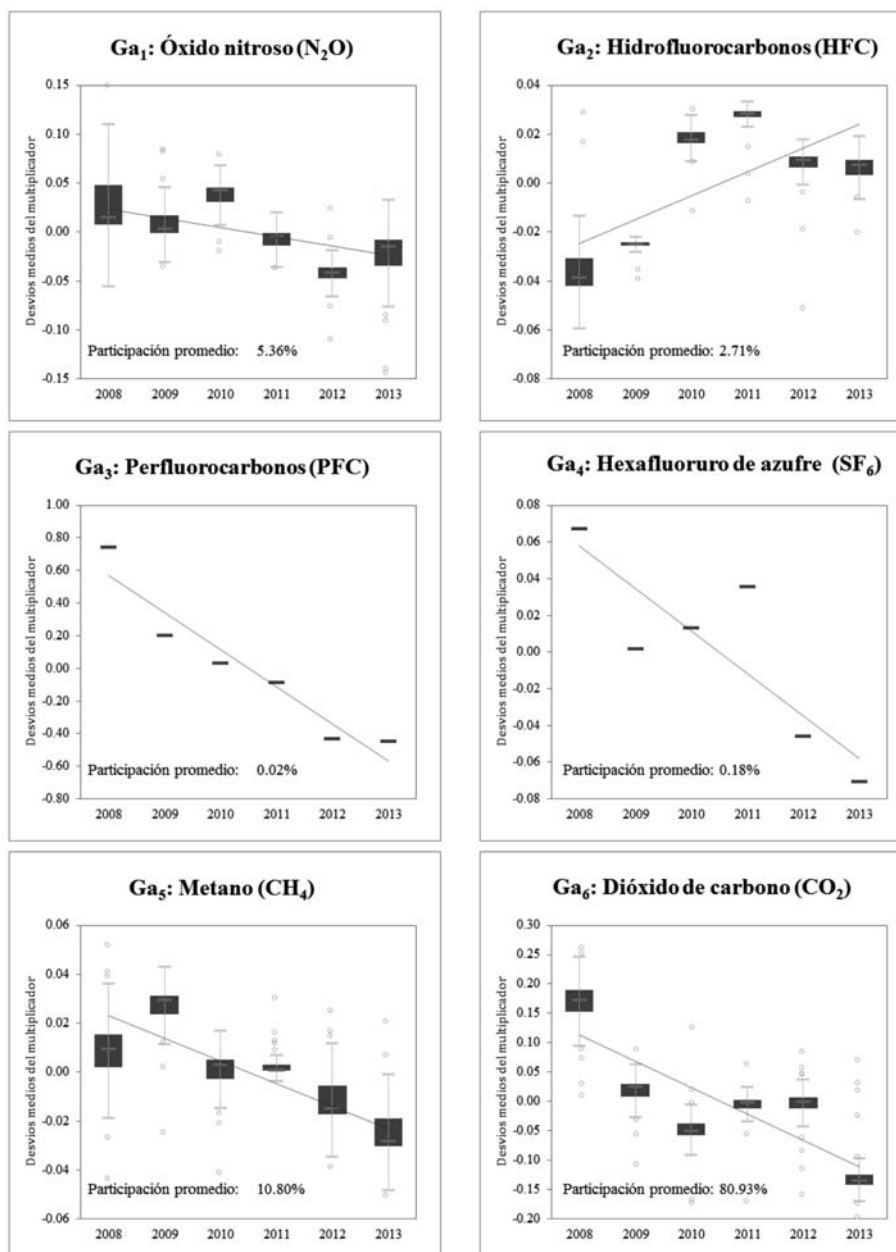
Un aspecto que resalta en el diagrama de cajas es el referente a los gases Perfluoro carbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF₆), en los que no se observa ninguna distribución sectorial producto de la emisión de estos gases, ya que los responsables de su emisión están concentrados en su totalidad en los sectores «Industria del papel, artes gráficas y reproducción de soportes grabados» para el primer tipo de GEI y en el sector «muebles y otras industrias manufactureras. Reparación e instalación de maquinaria y equipo» para el segundo tipo de GEI. Por lo tanto, un análisis indi-

vidual de estos sectores puede resultar no concluyente sobre el efecto de la crisis económica en la eficiencia medioambiental a nivel global para España; de aquí la relevancia de incorporar un análisis multisectorial basado en los multiplicadores medioambientales para poder conocer las repercusiones reales sobre el total de la economía.

La figura 3, en páginas posteriores, muestra el análisis de los resultados tras categorizar las actividades económicas según sus encadenamientos. Esta representación gráfica presenta, para cada tipo de GEI, un diagrama de dispersión que muestra la clasificación por ramas de actividad económica según dichos encadenamientos. A este respecto, la clasificación de las 32 actividades consideradas ha sido representada como sigue: i) las actividades *claves* en el cuadrante superior derecho (fuertes encadenamientos hacia atrás y hacia delante), ii) las actividades de *fuerte arrastre* en el cuadrante inferior derecho (fuertes encadenamientos hacia atrás y débiles encadenamientos hacia delante), iii) las actividades *base* de la economía en el cuadrante superior izquierdo (débiles encadenamientos hacia atrás y fuertes encadenamientos hacia delante) y iv) las actividades *independientes* en el cuadrante inferior izquierdo (débiles encadenamientos hacia atrás y hacia delante). Esta clasificación permanece estable para cada tipo de GEI, variando entre gráficos la ponderación, reflejada en el tamaño de la esfera, en función del multiplicador ambiental del gas promedio para la serie en estudio por actividad económica estimada entre 2008 y 2013.

Se puede observar que son pocas las actividades que poseen una importancia relativa en términos del multiplicador ambiental para los diferentes GEI. En el caso del primer gas, el Óxido Nítrico – N₂O), se puede observar que las dos principales actividades con el mayor efecto multiplicador de este gas son las «Industrias de alimentación» y la de «Transporte y almacenamiento». Por su lado, los principales multiplicadores de los gases al (Perfluorocarbonos – PFC, Hexafluoruro de azufre – SF₆, y Metano – CH₄), se concentran en la activi-

FIGURA 2
DIAGRAMA DEL MULTIPLICADOR DE GASES EFECTO INVERNADERO. EVOLUCIÓN ENTRE 2008 Y 2013



Nota: Con la intención de ganar representatividad, cada multiplicador representa el desvío promedio entre las distintas ramas de actividad del multiplicador medioambiental por tipo de gas.

FUENTE: Elaboración propia según datos del Instituto Nacional de Estadística.

dad de la «industria del papel», «Industria del Mueble» y «Actividades artísticas, recreativas y otros servicios», respectivamente.

En contraste, los multiplicadores del gas (Hidrofluorocarbonos – HFC) y el (Dióxido de Carbono – CO₂) disponen un mayor grupo de actividades principales. En el primero se tiene a la «Industria de la madera y el corcho», el «comercio al mayor», la «industria del papel» y la «Agricultura, ganadería y caza». En el segundo, repite la «Industria de madera y el corcho», más las «Actividades de saneamiento, gestión de residuos y descontaminación» y de «Construcción».

Este análisis permite una visualización de las características de cada gas asociado a las actividades económicas clasificadas en función de sus encadenamientos y además permite vincular las relaciones encontradas en el análisis de modelo de regresión multinivel presentado a continuación.

Los resultados del análisis de regresión multinivel (Cuadro 1, en la página siguiente) señalan una relación inversa en la tendencia global del indicador de eficiencia medioambiental (-0.052), lo que permite concluir una mejora significativa en la eficiencia en el nivel de emisiones de GEI durante el periodo analizado. Esta

CUADRO 1
REGRESIÓN DE EFECTOS ALEATORIOS
 Medida: indicador de eficiencia medioambiental (multiplicador *ga*)
 Muestra: España 2008-2013

Efecto multiplicador general (<i>CO₂ equivalente</i>)								
Descripción	Variable	Coef.	Error Std.	z	p-valor	[95% Conf. Interval]		
Ga: CO₂ equivalente	<i>Tendencia</i>	γ_{01}	-0.052	0.003	-18.020	0.000	-0.058	-0.046
	<i>Producción Bruta</i>	γ_{02}	0.063	0.076	0.820	0.412	-0.087	0.212
	<i>Constante</i>	β_{00}	-10.086	1.321	-7.630	0.000	-12.676	-7.497
Efecto multiplicador por tipo de gas								
Ga₁: Óxido nitroso (N₂O)	<i>Tendencia</i>	γ_{11}	-0.018	0.002	-7.260	0.000	-0.023	-0.013
	<i>Producción Bruta</i>	γ_{12}	0.042	0.086	0.490	0.624	-0.127	0.212
	<i>Constante</i>	β_{10}	-8.854	0.363	-24.410	0.000	-9.565	-8.143
Ga₂: Hidrofluorocarbonos (HFC)	<i>Tendencia</i>	γ_{21}	0.008	0.001	6.980	0.000	0.006	0.011
	<i>Producción Bruta</i>	γ_{22}	0.037	0.041	0.900	0.366	-0.043	0.118
	<i>Constante</i>	β_{20}	-9.500	0.212	-44.800	0.000	-9.915	-9.084
Ga₃: Perfluorocarbonos (PFC)	<i>Tendencia</i>	γ_{31}	-0.229	0.004	-54.170	0.000	-0.237	-0.221
	<i>Producción Bruta</i>	γ_{32}	0.229	0.138	1.660	0.098	-0.042	0.500
	<i>Constante</i>	β_{30}	-15.092	0.621	-24.290	0.000	-16.309	-13.874
Ga₄: Hexafluoruro de azufre (SF₆)	<i>Tendencia</i>	γ_{41}	-0.022	0.001	-18.830	0.000	-0.025	-0.020
	<i>Producción Bruta</i>	γ_{42}	0.100	0.041	2.460	0.014	0.020	0.180
	<i>Constante</i>	β_{40}	-13.562	0.242	-55.960	0.000	-14.037	-13.087
Ga₅: Metano (CH₄)	<i>Tendencia</i>	γ_{51}	-0.009	0.001	-9.320	0.000	-0.011	-0.007
	<i>Producción Bruta</i>	γ_{52}	0.082	0.099	0.830	0.409	-0.112	0.275
	<i>Constante</i>	β_{50}	-8.383	0.435	-19.280	0.000	-9.236	-7.531
Ga₆: Dióxido de carbono (CO₂)	<i>Tendencia</i>	γ_{61}	-0.039	0.003	-12.670	0.000	-0.045	-0.033
	<i>Producción Bruta</i>	γ_{62}	0.372	0.102	3.640	0.000	0.172	0.572
	<i>Constante</i>	β_{60}	-7.293	0.439	-16.610	0.000	-8.153	-6.433
Parámetro de los Efectos Aleatorios (<i>Random-effects</i>)								
Por rama de actividad								
	<i>Producción bruta</i>	$\times \sigma^2_v$	0.1524	0.035	4.335	0.000	0.084	0.221
		σ^2_v	0.535	0.192	2.785	0.006		
Por tipo de gas								
		σ^2_u	3.123	0.904	3.455	0.001	1.351	4.895
		σ^2_e	0.162	0.004	43.547	0.000	0.155	0.169
LR test vs. Regresión lineal:			chi2 (3) =	5848.05		Prob > chi2 =	0.0000	
Observaciones			1152					
Nivel 1			192					
Nivel 2			6					

FUENTE: Elaboración propia.

conclusión se sustenta, tras controlar por un posible efecto cíclico a través de la inclusión de la variable de control Producción Bruta por sectores de actividad económica.

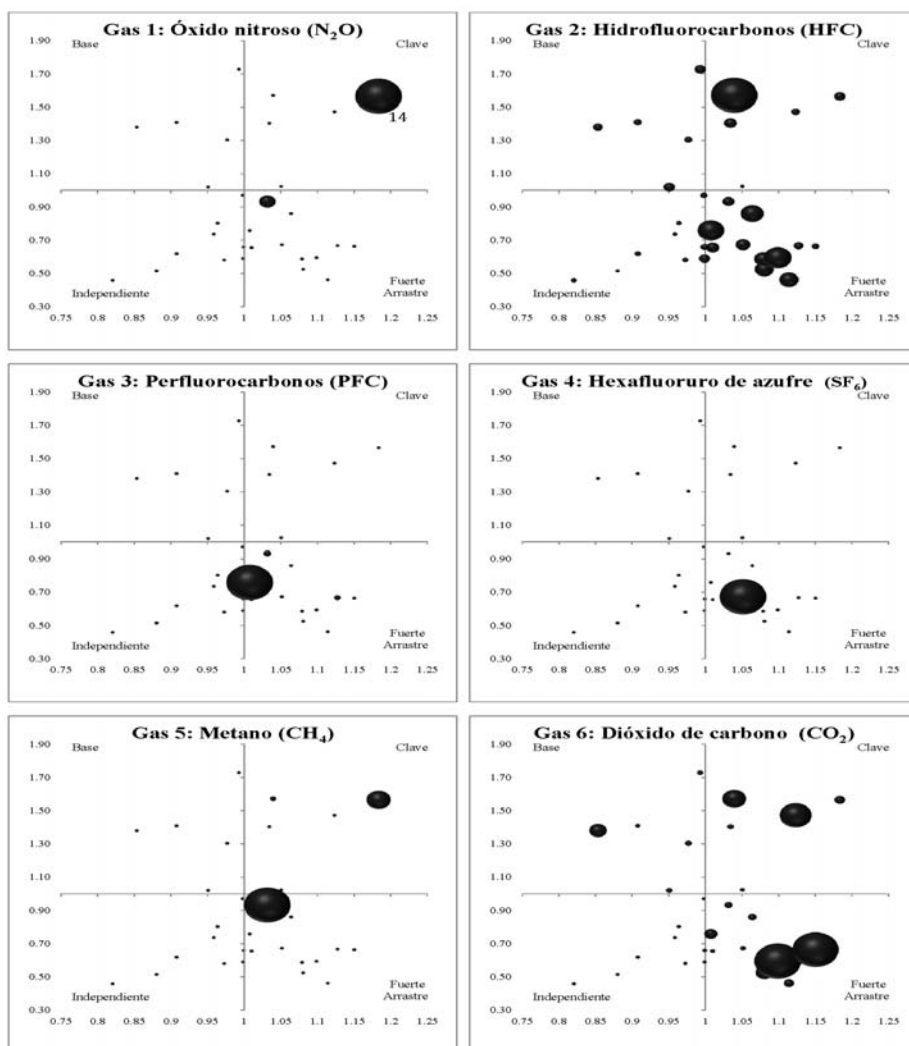
En este sentido, se puede inferir que a nivel global ha existido una mejora significativa en la eficiencia energética durante el periodo de crisis (2008-2013) al observar la evolución del multiplicador sobre el total de la economía. Este resultado está en línea con la previsión sobre la reducción total de GEI realizado por Cansino *et al.* (2012) para España entre 2002 y 2007. De este modo, nuestros resultados apoyan la tesis de que es posible alcanzar los Objetivos 2020 sobre reducción de GEI suscritos por España (IMF, 2012).

Al analizar la relación del multiplicador ambiental con el ciclo económico, destaca el resultado no significativo del coeficiente asociado al valor de la producción

Bruta (γ_{02}), lo cual permite indicar que los cambios en la eficiencia energética no siguen, al menos a nivel general, un comportamiento pro-cíclico en la economía española. Este último resultado pareciera confirmar lo señalado por Morilla *et al.* (2007) sobre una posible no relación causal entre actividades con mayor efecto de arrastre económico y los efectos medioambientales. Sin embargo, al analizar el multiplicador medioambiental por tipo de GEI, esta conclusión no puede ser apoyada del todo, ya que el comportamiento cíclico de la producción sí se encuentra significativamente relacionado con tres de los seis gases bajo estudio, específicamente con el multiplicador (Perfluorocarbonos – PFC), (Hexafluoruro de azufre – SF₆) y el (Dióxido de Carbono – CO₂).

Al contrastar estos resultados con el análisis previo de los encadenamientos se puede destacar cómo los GEI que tienen un comportamiento cíclico están asocia-

FIGURA 3
MULTIPLICADOR DE GASES EFECTO INVERNADERO POR RAMAS DE ACTIVIDAD ECONÓMICA CLASIFICADAS
SEGÚN SUS ENCADENAMIENTOS



Nota: La emisión de GEI está expresada en millones de toneladas de CO₂ equivalente. El ponderador que determina los tamaños relativos de las esferas está referido al multiplicador promedio de la serie 2008-2013 para cada tipo de gas.

FUENTE: Elaboración propia según datos del Instituto Nacional de Estadística.

dos a las actividades clasificadas con características de fuertes encadenamientos hacia atrás o fuerte arrastre de la economía (cuadro inferior derecho de los gases Ga₃, Ga₄ y Ga₅). Por su lado, aquellos que presentan un comportamiento anti-cíclico concentran ramas de actividad clasificadas como actividades claves de la economía (ver Figura 3).

Adicionalmente, cuando se comparan estos resultados con las clasificaciones sectoriales, se observa que los sectores más implicados en el efecto multiplicador de los tres gases antes mencionados pertenecen a la categoría de *fuerte arrastre*. Por lo tanto, los datos analizados en este trabajo no permiten apoyar en su totalidad la hipótesis de que «una estrategia de desarrollo económico que potencie el crecimiento económico impulsando sectores con una alta capacidad de generar valor, sea compatible con otra que propicie cam-

bios estructurales que mejoren la eficiencia medioambiental de la economía», ya que es importante considerar la necesidad de controlar por el posible efecto pro-cíclico que sectores económicos como el de la «industria del papel» (asociado a la total emisión del PFC), la «industria del mueble» (responsable del total de las emisiones del SF₆), así como de las ramas de actividad «industria de la madera y el corcho» y «saneamiento, gestión de residuos y descontaminación» (responsables más de una cuarta parte de las emisiones de CO₂)

Por tanto, una política medioambiental que intente minimizar los efectos medioambientales sin que cause efectos económicos adversos relevantes sobre la producción agregada, debe preferiblemente poner el acento sobre los sectores clasificados como *claves*, ya que estos sí parecen ser compatibles con una política

de desarrollo económico que contribuya a mejorar la eficiencia medioambiental dentro de un modelo de desarrollo económico sostenible. Estos gases, a su vez, muestran también signos claros y significativos de mejora en la eficiencia energética.

Finalmente, con respecto a los gases que no acompañan al ciclo económico, se observa que dos de ellos, el Ga_1 (Óxido nitroso - N_2O) y el (Metano - CH_4), también muestran una mejora en la eficiencia energética. Sin embargo, el multiplicador medioambiental (Hidrofluorocarbonos - HFC) refleja un empeoramiento del comportamiento de este indicador.

CONCLUSIONES

Este trabajo tiene por objetivo realizar una evaluación, para cada tipo de GEI y por rama de actividad, sobre si existe una relación causal entre la crisis económica y la eficiencia energética en el caso de la economía española. Para ello, se emplea la matriz de contabilidad social y cuentas medioambientales (SAMEA), a partir de la cual se calculan los denominados «multiplicadores domésticos SAMEA».

Los resultados evidencian que los sectores clasificados como clave tienen un menor efecto multiplicador medioambiental y no siguen una evolución ligada al ciclo económico. Sin embargo, la eficiencia medioambiental de los sectores de fuerte arrastre tiene un comportamiento procíclico. De este modo, las políticas encaminadas a la mejora de la sostenibilidad sectorial en la economía española deberían recaer fundamentalmente sobre sectores clave. El diseño de medidas de política medioambiental que afecten a sectores de fuerte arrastre debe considerar su vinculación directa y positiva con el ciclo económico.

(1) Los autores agradecen la financiación concedida a través de los proyectos ECO2013-47009-P (Ministerio de Economía y Competitividad) y PRY108/14 (Fundación Pública Andaluza Centro de Estudios Andaluces).

NOTAS

- [1] Como señalan Morilla *et al.* (2009), aunque la contribución de cada gas al efecto invernadero no está exenta de controversia, existe un cierto consenso en utilizar la conversión a toneladas de CO_2 equivalentes.

BIBLIOGRAFÍA

- BRUNDTLAND, G.H. (1987). *World Commission on Environment and Development, 1987. Our common future*. Oxford University Press, Oxford.
- CANSINO, J.M.; CARDENETE, M.A.; ORDÓÑEZ, M. & ROMÁN, R. (2012). «Economic analysis of greenhouse gas emissions in the Spanish economy». *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, nº 8, pp. 6032-6039.
- COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, INTERNATIONAL MONETARY FUND, ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, UNITED NATIONS AND WORLD BANK (1993). *System of National Accounts 1993*. Sales No. E.94.XVII.4. Available from <http://unstats.un.org/unsd/nationalaccount/docs/1993sna.pdf>.

EUROPEAN COMMISSION, INTERNATIONAL MONETARY FUND, ORGANISATION FOR ECONOMIC CO- OPERATION AND DEVELOPMENT, UNITED NATIONS AND WORLD BANK (2003). *Handbook of national accounting: integrated environmental and economic accounting 2003. Studies in Methods, Series F, nº. 61, Rev. 1*. Available from <http://unstats.un.org/unsd/envac-counting/seea2003.pdf>.

EUROPEAN COMMISSION, INTERNATIONAL MONETARY FUND, ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, UNITED NATIONS AND WORLD BANK (2009). *System of National Accounts 2008*. Sales No. E.08.XVII.29. Available from- <http://unstats.un.org/unsd/nationalaccount/docs/SNA2008.pdf>.

GOLDSTEIN, H. (1986). «Multilevel mixed linear model analysis using iterative generalized least squares». *Biometrika*, vol. 73, nº 1, pp. 43-56.

HERNÁNDEZ, G. (2012). «Matrices insumo-producto y análisis de multiplicadores: una aplicación para Colombia». *Revista de economía institucional*, vol. 14, nº 26, pp. 203-221.

HIRSCHMAN, A. (1958). *The strategy of economic development*. New Haven: Yale University Press.

KYOTO PROTOCOL. (1997). *The Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Kyoto: UNEP/WMO.

LOREK, S. & SPANGENBERG, J.H. (2014). «Sustainable consumption within a sustainable economy—beyond green growth and green economies». *Journal of cleaner production*, nº 63, pp. 33-44.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2003). *Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment*. Washington, D.C.: Island Press. Available from pdf.wri.org/ecosystems_human_wellbeing.pdf.

MORILLA, C.R.; DIAZ-SALAZAR, G.L. & CARDENETE, M.A. (2007). «Economic and environmental efficiency using a social accounting matrix». *Ecological Economics*, vol. 60, nº 4, pp. 774-786.

MORILLA, C.R.; FLORES, M.A.C. & DIAZ-SALAZAR, G.L. (2009). «Multiplicadores domésticos "SAMEA" en un modelo multisectorial económico y ambiental de España». *Economía agraria y recursos naturales*, vol. 9, nº 1, pp. 111-135.

POLO, C.; ROLAND-HOLST, D. & SANCHO, F. (1991). «Descomposición de multiplicadores en un modelo multisectorial: una aplicación al caso español». *Investigaciones Económicas*, vol.15, nº 1, pp. 53-69.

PYATT, G. AND E. THORBECKE. (1976). *Planning techniques for a better future*. Geneva: International Labour Office.

RASMUSSEN, P.N. (1956). *Studies in intersectoral relations* (Vol. 15). E. Harck.

RAUDENBUSH, S. & BRYK, A.S. (1986). «A hierarchical model for studying school effects». *Sociology of education*, nº 1-17.

ROBINSON, S. & ROLAND-HOLST, D.W. (1988). «Macroeconomic structure and computable general equilibrium models». *Journal of Policy Modelling*, vol. 10, nº 3, pp. 353-375.

TUKEY, J.W. (1977). *Exploratory data analysis*. Reading, MA: Addison-Wesley.

UNCED. (1992a). *Agenda 21. United Nations*, New York. <http://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>. Consultado el 19 de marzo de 2016.

UNCED. (1992b). *Rio Declaration on Environment and Development. United Nations*, New York. <http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?DocumentID1478&ArticleID141163>. Consultado el 19 de marzo de 2016.

UNITED NATIONS. (1993). *Report of the United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, 3-14 June 1992, vol. I, Resolutions Adopted by the Conference*. Sales No. E.93.I.8 and corrigendum. Resolution I, annex II (Agenda 21). Available from <http://www.un.org/esa/dsd/agenda21/>.

UNITED NATIONS (2012). The future We want. In: Final Declaration of the UNCSD conference, Rio de Janeiro, June 2012 electronic source: <http://www.uncsd2012.org/content/documents/727The%20Future%20We%20Want%2019%20June%201230pm.pdf>. Consultado el 12 de abril de 2016

UNITED NATIONS. (2015). *Framework convention on climate change*. Paris.

VELÁZQUEZ ALONSO, E. (2003). «Modelo Input-Output de agua. Análisis de las relaciones intersectoriales de agua en Andalucía». *Documento de Trabajo* (E2003/01), Fundación Centro de Estudios Andaluces.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (1987). *Our Common Future*. New York, Oxford: Oxford University Press,

