

# *Políticas económicas y ambientales eficientes en un contexto de equilibrio general aplicado*

Las medidas emprendidas contra el cambio climático pueden entrar en conflicto con el logro de determinados objetivos económicos. Por tanto, el diseño de políticas económicas y ambientales puede entenderse como un problema de decisión multicriterio. En este trabajo se aborda el diseño de políticas públicas combinando técnicas multicriterio y la modelización de equilibrio general computable. En particular, se define el concepto de *política eficiente* y se aplica dicha definición a la economía española con datos del año 2000. El método propuesto permite construir un conjunto de políticas eficientes en términos de crecimiento económico y emisiones contaminantes, así como ampliar el conjunto de objetivos de política.

*Klima-aldaketari aurre egiteko hartutako neurriek gatazka sor dezakete, helburu ekonomiko jakin batzuk lortzeko oztopo izan daitezkeelako. Hori dela eta, ekonomiaren eta ingurumenaren arloko politikak diseinatzerakoan, irizpide asko kontuan hartu beharra dago, eta hortik sortzen dira arazoak. Lan honetan, politika publikoak nola diseinatu aztertzen da, irizpide askotariko teknikak erabiliz, eta oreka orokor zenbagarriaren eredua jarraituz. Zehazki esanda, politika efizientea zer den zehazten da, eta definizio hori Espainiako ekonomiari ezartzen zaio, 2000. urteko datuak kontuan izanda. Proposatzen den metodologiak hazkunde ekonomikoaren eta isuri kutsatzaileen ikuspegitik efizienteak diren politika-moduak eskaintzen ditu, eta politikaren helburuak hedatzeko aukera ere bai.*

The measures taken in order to fight against the climate change can create conflict when trying to achieve certain economic goals. That is why the design of economic and environmental policies can be understood as a multi-criteria decision problem. In this article we tackle the design of public policies combining multi-criteria techniques and the modeling of computable general equilibrium. More precisely, we define the “efficient policy” concept and we apply such definitions to the Spanish economy with the 2000 year data. The methodology proposed enables the construction of a set of efficient policies in terms of economic growth and polluting emissions. We also illustrate how to address problems with a larger set of policy objectives.

## ÍNDICE

1. Introducción
  2. Método y aplicación a la economía española
  3. Políticas eficientes en cuanto a crecimiento y emisiones
  4. Políticas eficientes con más de dos criterios
  5. Conclusiones
- Referencias bibliográficas

Palabras clave: política económica, política ambiental, eficiencia, decisión multicriterio, modelos de equilibrio general aplicado.

Keywords: economic policy, enviromental policy, efficiency, multicriteria decision, making general equilibrium computable models.

N.º de clasificación JEL: C61, C68, D78, Q58.

### 1. INTRODUCCIÓN

La conciencia de que es necesario emprender acciones contra el cambio climático está cada vez más extendida en todos los ámbitos nacionales e internacionales. Esta conclusión queda patente en la proliferación de nuevas publicaciones y estudios relacionados (como este número monográfico), la incorporación de las consideraciones ambientales en los discursos políticos y, tal vez de modo todavía más patente, en los recientes debates y acuerdos internacionales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

En consecuencia, la reducción de las emisiones contaminantes debe incorporarse paulatinamente como un objetivo prioritario de las políticas públicas. Esa reducción requiere algún cambio en las decisiones de producción y consumo, que puede consistir

en un descenso de la actividad productiva, en una reorganización de la misma, o en la adopción de cualesquiera otras medidas correctoras. En todo caso, el control de la contaminación llevará aparejado algún tipo de sacrificio o coste económico. Estos costes pueden dificultar la implantación de políticas ambientales, pues los sectores sobre los que recaigan dichos costes, normalmente serán reacios a aceptarlos. En definitiva, los gobiernos se ven obligados a establecer algún balance o compromiso entre los objetivos ambientales y los económicos. Y, lo que es más importante, dichos objetivos suelen entrar en conflicto entre sí.

Este artículo profundiza en el diseño de políticas públicas prestando atención al conflicto que puede surgir entre los objetivos económicos y los ambientales. El enfoque empleado en este trabajo involucra la combinación de dos métodos analíticos

que tradicionalmente no han sido empleados conjuntamente, pero que resultan tener un alto grado de complementariedad en el diseño de políticas.

El primer componente metodológico de este enfoque parte de la observación de que el diseño de políticas públicas puede considerarse como un problema de decisión con múltiples objetivos. En la literatura de investigación operativa se han desarrollado las llamadas técnicas de decisión multicriterio para abordar problemas con distintos criterios de decisión que entran en conflicto entre sí, como es el que nos ocupa. Estas técnicas se han aplicado a numerosos problemas de gestión económica y ambiental (véase, por ejemplo, Mendoza y Martins, 2006, Mavrotas, Ziomas y Diakouaki, 2006, Brody y otros, 2006, Liu, 2007) y recientemente se han realizado distintas aplicaciones de las mismas en relación con el cambio climático. A este respecto, véase Bell y otros (2001, 2003), Doukas, Patlitzianas y Psarras (2006) o Konidari y Mavarakis (2007).

El segundo elemento metodológico consiste en representar el funcionamiento de la economía mediante un modelo de equilibrio general aplicado (modelo CGE, proveniente de la denominación inglesa *computable general equilibrium*). Estos modelos resultan adecuados para analizar el diseño de políticas públicas porque, siendo coherentes con la teoría económica estándar, permiten medir numéricamente los efectos de un cambio cualquiera (en nuestro caso, un cambio en la política pública) sobre las variables económicas relevantes, como los precios relativos, los niveles de producción, la renta o la recaudación impositiva. Los modelos CGE se han aplicado ampliamente desde los años 80 para la evaluación de políticas económicas y de políticas ambien-

tales. Se pueden ver algunas aplicaciones de esta metodología en André, Cardenete y Velázquez (2005), O’Ryan y otros (2005), Schafer y Jacoby (2005), Willenbockel (2004), Yao y Liu (2000) y una presentación del estado del arte en Kehoe, Srinivasan y Whalley (2005). Estos modelos también se han aplicado recientemente al análisis del cambio climático en trabajos como los de Nijkamp, Wang y Kremers (2005), Kremers, Nijkamp y Wang (2002), Böhringer, Loschel, y Rutherford (2006) o Springer (2003).

Al combinar el enfoque multicriterio con la modelización del tipo CGE, este artículo sigue la línea iniciada por André y Cardenete (2008, 2009) y André, Cardenete y Romero (2008, 2009) pero incorpora la novedad de considerar, no sólo objetivos de tipo económico, sino también un importante objetivo ambiental como es la reducción de las emisiones contaminantes. En particular, igual que en André y Cardenete (2008), se emplea una técnica de decisión multicriterio específica como es la programación multiobjetivo. El propósito de dicha técnica es la búsqueda de las llamadas soluciones Pareto-eficientes. En un contexto multicriterio se dice que una solución es eficiente si, a partir de ella, no es posible encontrar otra solución tal que mejore el valor de algún objetivo sin que empeore el valor de otro objetivo. Trasladando este concepto de eficiencia al diseño de las políticas públicas, se define una política eficiente como una combinación de los instrumentos de política que proporciona determinado valor para los objetivos de política, de tal modo que no es posible mejorar el valor de un objetivo sin empeorar el de algún otro.

Por tanto, el propósito de este trabajo es el de analizar el diseño de políticas públicas eficientes en un modelo de equilibrio general considerando simultáneamente los obje-

tivos económicos habituales, con el objetivo adicional de reducir las emisiones contaminantes. La motivación para procurar que las políticas sean eficientes obedece a la pretensión de que cada objetivo se logre con el mínimo perjuicio para otros objetivos que también son relevantes. Así, las medidas para combatir el cambio climático serán menos traumáticas y más fáciles de poner en práctica en la medida en que no supongan una fuerte reducción del crecimiento económico, un aumento del déficit público o el empeoramiento de cualesquiera otros indicadores que preocupen a la sociedad y al gobierno. Análogamente, también es deseable que los objetivos económicos se logren a costa de un volumen de emisiones lo menor posible.

Además de proponer esta aportación metodológica, este artículo también pretende realizar una aportación de tipo aplicado al emplear esta técnica con datos españoles reales del año 2000. A este respecto, también puede considerarse una novedad el hecho de emplear la matriz de contabilidad social (SAM, en la denominación en inglés) de España para el año 2000, última base de datos posible con el marco input-output publicado por el Instituto Nacional de Estadística y con la característica propia de presentarse a precios de adquisición (Cardenete y Fuentes, 2007).

En la sección 2 se presentan las cuestiones metodológicas básicas de nuestro estudio, incluyendo la estructura del modelo de equilibrio general aplicado, los datos usados para la calibración y los principales elementos de los ejercicios de diseño de políticas analizados. En la sección 3 se presenta con cierto detalle un primer ejercicio de diseño de política pública en el cual se incluye el supuesto simplificador de que el gobierno únicamente tiene dos objetivos de

política: un objetivo económico que consiste en fomentar el crecimiento real de la economía y un objetivo ambiental que consiste en combatir el cambio climático reduciendo las emisiones de  $\text{CO}_2$ . En la sección 4 se discute la ampliación de este ejercicio mediante la inclusión de algunos criterios económicos adicionales. Las principales conclusiones del trabajo se ofrecen en la sección 5.

## 2. MÉTODO Y APLICACIÓN A LA ECONOMÍA ESPAÑOLA

### 2.1. El modelo básico

En este trabajo se utiliza un modelo de equilibrio general computable. Para simplificar la exposición, se presenta únicamente un resumen de dicho modelo. Una descripción más completa puede encontrarse, por ejemplo, en André, Cardenete y Velázquez (2005).

El modelo utilizado está compuesto por 26 sectores productivos que se corresponden con una agregación del marco input-output de España para 2000. La tecnología productiva se corresponde con lo que, en la nomenclatura de los modelos de equilibrio general aplicado, se conoce como función de producción «anidada». La producción interior del sector  $j$  ( $j=1,2,\dots,26$ ), denotada por  $Xd_j$ , utiliza como factores productivos los bienes generados por el resto de los sectores, así como los factores primarios (trabajo,  $L$  y capital,  $K$ ) —que se combinan entre sí siguiendo una tecnología Cobb-Douglas y que proporcionan el valor añadido de dicho sector,  $VA_j$ — combinados mediante una tecnología de coeficiente fijos o de Leontief. La producción total  $Q_j$  es el resultado de combinar la producción doméstica  $Xd_j$  con las importaciones equivalentes  $Xrow_j$ , me-

dante una función Cobb-Douglas, siguiendo la hipótesis de Armington (1969).

El gobierno grava las transacciones económicas, obteniendo de este modo una recaudación impositiva<sup>1</sup>,  $R$ ; influye sobre la renta disponible del consumidor  $YDISP$ , efectúa transferencias al sector privado  $TPS$  y demanda bienes y servicios  $GD_j$  provenientes de distintos sectores productivos. La diferencia entre sus ingresos y sus pagos representa el saldo (superávit o déficit) del presupuesto público,  $DP$ , según la siguiente expresión:

$$DP = TPS \cdot cpi + \sum_{j=1}^{26} GD_j \cdot p_j - R \quad (1)$$

donde  $cpi$  es el Índice de Precios de Consumo y  $p_j$  es el nivel de precios de producción (antes de IVA) de los bienes del sector  $j$ .

Las dos grandes áreas de comercio (Resto de Europa y Resto del Mundo) se agregan en único sector exterior, cuyo déficit o superávit viene dado por  $ROWD$ .

$$ROWD = \sum_{j=1}^{26} rowp \cdot IMP_j - TROW - \sum_{j=1}^{26} rowp \cdot EXP_j \quad (2)$$

donde  $IMP_j$  representa las importaciones de productos extranjeros del sector  $j$ ,  $EXP_j$  las exportaciones de productos del sector  $j$  y  $TROW$  las transferencias procedentes del exterior para el consumidor. Por último  $rowp$  es un índice ponderado de precios de los bienes intercambiados en el sector exterior.

La demanda final proviene, en primer lugar, de los sectores de demanda no consumida, la inversión y las exportaciones; y en segundo lugar de la demanda de bienes de

consumo de las familias. En nuestro caso contaremos con 26 tipos de bienes —identificados con los sectores productivos— y un consumidor representativo que demanda bienes de consumo presente. La parte de la renta disponible no destinada al consumo constituye su ahorro. Las compras de este consumidor representativo se financian, principalmente, con los ingresos derivados de la venta de sus dotaciones iniciales de factores. La renta disponible del consumidor representativo ( $YDISP$ ) viene dada por la suma de sus rentas del trabajo y del capital, más las transferencias que recibe, menos los impuestos directos a los que está sometido:

$$YDISP = wL + rK + cpi \cdot TPS + TROW - DT(rK + cpi \cdot TPS + TROW) - DT(wL - WCwL) - WCwL \quad (3)$$

donde  $w$  y  $r$  denotan los precios de los factores trabajo y capital respectivamente y  $L$  y  $K$  representan las cantidades de dichos factores que vende el consumidor,  $DT$  el tipo impositivo directo (o IRPF) y  $WC$  el tipo impositivo de la cuota obrera a la Seguridad Social. El objetivo del consumidor consiste en maximizar la utilidad que le reportan los bienes de consumo  $CD_j$  y de ahorro  $SD$ , conforme a una función del tipo Cobb-Douglas, sujeto a su restricción presupuestaria, es decir, en resolver el siguiente problema:

$$\begin{aligned} &\text{maximizar} \quad U(CD_1, \dots, CD_{26}, SD) = \left( \prod_{j=1}^{26} CD_j^{\alpha_j} \right) SD^{\beta} \\ &\text{s.a} \quad \sum_{j=1}^{26} p_j CD_j + invp SD = YDISP \end{aligned} \quad (4)$$

Respecto a la inversión y el ahorro, éste es un modelo de los denominados *Saving Driven Model*, esto es, un modelo en el que la ecuación de cierre se define de tal forma que la inversión es exógena, el ahorro se determina por la decisión de los consumidores al maximizar su utilidad y se deja que

<sup>1</sup> Véase en André, Cardenete y Velázquez (2005) con mayor detalle la forma de calcular todos los impuestos directos e indirectos del modelo.

los déficits, tanto del sector público como del sector exterior se determinen endógenamente conforme a la siguiente identidad contable:

$$\sum_{j=1}^{26} INV_j \cdot p_{inv} + DP = SD \cdot p_{inv} + ROWD \quad (5)$$

donde  $p_{inv}$  es un índice de precios de los bienes de inversión.

En cuanto a los mercados de factores, las demandas de trabajo y de capital se calculan suponiendo que las empresas minimizan el coste de producir el valor añadido. La oferta de capital se supone inelástica y la oferta de trabajo se supone perfectamente elástica al salario real, que depende de la tasa de desempleo. El nivel de actividad del sector exterior en cada rama de actividad se toma como fijo, permitiendo que funcionen como variables endógenas los precios relativos, los niveles de actividad de los sectores productivos y los déficits público y exterior en el ajuste para el logro del equilibrio. La actividad del gobierno (el gasto público y los impuestos) es percibida como exógena por los agentes económicos y, desde el punto de vista del gobierno, constituye el conjunto de variables de decisión, como se explica más adelante.

El equilibrio de la economía es una situación en la que el consumidor maximiza su utilidad, los sectores productivos maximizan sus beneficios netos de impuestos y los ingresos del sector público coinciden con los pagos de los diferentes agentes económicos. En este equilibrio, las cantidades ofrecidas son iguales a las demandas en todos los mercados.

Formalmente, el modelo reproduce un estado de equilibrio de la economía española donde las funciones de oferta y demanda de todos los bienes se obtienen como la

solución de los problemas de maximización de la utilidad y los beneficios. El resultado es un vector de precios de bienes y de factores, de niveles de actividad y de recaudaciones impositivas tales que satisfagan las condiciones anteriormente descritas.

## 2.2. Contaminación e impuestos ambientales

Partimos del supuesto de que el gobierno, junto a los objetivos de tipo económico, está interesado también en reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> debido a su compromiso de combatir el cambio climático. En este trabajo se adopta un enfoque de corto plazo suponiendo que la tecnología de producción está dada y también lo está la intensidad contaminante de los distintos sectores productivos. Para modelizar este supuesto, se denota como  $E_j$  la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> del sector  $j$  medida en kilotoneladas por año (kton/año) y se asume que existe la siguiente relación lineal entre el nivel de emisiones y la producción del sector  $j$ ,  $Q_j$  (medida en euros constantes).

$$E_j = \alpha_j \cdot Q_j \quad (6)$$

donde  $\alpha_j$  es un parámetro que mide la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> por unidad de producto en el sector  $j$ . Este parámetro es específico de cada sector productivo y pone de manifiesto el hecho de que unos sectores son más intensivos en contaminación que otros. La cantidad total de emisiones contaminantes,  $E$ , es igual a la suma de las emisiones de cada sector:

$$E = \sum_{j=1}^{26} E_j \quad (7)$$

Por otra parte, junto a los instrumentos de política económica convencionales, su-

pondremos que el gobierno también puede establecer un impuesto ambiental específico de  $t$  euros por kton/año de emisiones de  $\text{CO}_2$ . Por tanto, el sector  $j$  se ve obligado a pagar la cantidad  $T_j$  en concepto de impuesto ambiental, donde  $T_j$  está dado por

$$T_j = t \cdot E_j \quad (8)$$

El hecho de que unos sectores sean más contaminantes que otros hace que un mismo impuesto sobre las emisiones conlleve distinta carga impositiva con respecto a la producción. Sustituyendo (6) en (8), resulta que el impuesto que debe pagar el sector  $j$  puede escribirse como

$$T_j = \beta_j \cdot Q_j \quad (9)$$

donde  $\beta_j \equiv t \cdot \alpha_j$  es el tipo impositivo ambiental que soporta el sector  $j$  en términos de euros pagados por euros de producción obtenida. Por tanto, desde el punto de vista de los sectores productivos, el impacto del impuesto ambiental puede entenderse de modo similar a un impuesto sobre la producción, con la particularidad de que las industrias más contaminantes soportan un tipo impositivo mayor.

### 2.3. Bases de datos y calibración

La especificación numérica de los parámetros de los modelos se ha realizado a partir de una matriz de contabilidad social de España para 2000 a precios de adquisición (SAMESP90), elaborado en un trabajo previo por Cardenete y Fuentes (2007). La SAM está formada por 26 sectores industriales, dos factores productivos (trabajo y capital), una cuenta de ahorro/inversión, una cuenta de administración pública, los impuestos directos (IRPF y cuota obrera) e indirectos (cuota empresarial, IVA, impuesto sobre producción, aranceles), un único sec-

tor exterior y un consumidor representativo. Con respecto a los niveles de emisiones de  $\text{CO}_2$ , se han tomado los publicados por el Instituto Nacional de Estadística y Eurostat.

Los parámetros del modelo se han especificado asignándoles los valores que permiten reproducir la matriz de contabilidad social como un equilibrio de la economía. Para ello se ha empleado el método conocido como calibración, conocedores de las ventajas y problemas de este método (Mansur y Whalley, 1984). En particular, se han calibrado los siguientes parámetros: coeficientes técnicos de los sectores productivos, tanto interiores como exteriores; coeficientes técnicos de los factores productivos que producen el valor añadido unitario; tipos impositivos medios de todos los impuestos, tanto directos como indirectos; coeficientes de participación de las funciones de utilidad de los consumidores, que siguen una estructura de tipo Cobb-Douglas; coeficientes de participación y parámetros de escala de la función del valor añadido que sigue la misma tecnología Cobb-Douglas; coeficientes técnicos del valor añadido; los coeficientes técnicos de los bienes intermedios; los coeficientes técnicos de los bienes importados; y los coeficientes técnicos de los bienes interiores. A efectos de normalización, se establece que en el equilibrio de referencia todos los precios y los niveles de actividad son unitarios. Ello permite que, después de la simulación efectuada, las variaciones porcentuales de los precios, en términos relativos, y los niveles de actividad en términos absolutos, se puedan observar directamente.

Por último, los coeficientes de intensidad de emisiones contaminantes por sector ( $\alpha_j$ ) se calibran dividiendo la cantidad de emisiones contaminantes de cada sector por el volumen de producción (a precios constantes).

## 2.4. Variables de la política económica

Para que el ejercicio de diseño de política esté totalmente definido, es preciso especificar las variables empleadas como instrumentos de política y las variables empleadas como objetivos de política.

En cuanto a los *instrumentos de política*, en este trabajo se presenta un ejercicio basado en la política fiscal. Por tanto, los instrumentos de política económica que se consideran son los siguientes: el (tipo impositivo medio del) Impuesto sobre la Renta de las Personas Físicas, la cuota obrera a la Seguridad Social, el Impuesto sobre el Valor Añadido aplicado en cada sector, la cuota patronal a la Seguridad Social (por sectores), el nuevo impuesto propuesto sobre las emisiones contaminantes ( $t$ ) y el gasto público en cada sector.

Para que el ejercicio realizado tenga un cierto grado de realismo, se imponen algunas restricciones sobre los valores factibles de los instrumentos de política. En cuanto a los impuestos directos e indirectos y el gasto público, se impone la restricción de que estas variables no puedan variar más de un 5% con respecto a su valor observado en el año 2000. Así, si denotamos como  $x$  el vector de tipos impositivos y gasto público por sectores y como  $x_0$  el valor observado de dichas variables en el año 2000, se impone la condición  $0.95 \cdot x_0 \leq x \leq 1.05 \cdot x_0$ . Por otra parte, para evitar soluciones que puedan afectar de modo poco realista al presupuesto público, aunque se permite que el gasto público de cada sector varíe un 5% con respecto al valor observado, se exige que el gasto público total permanezca constante e igual al valor total observado en 2000. Por último, en cuanto al tipo impositivo del impuesto ambiental,  $t$ , se establece un límite inferior de 0 (es decir, podría

no aplicarse ningún impuesto ambiental, pero en ningún caso se podría subvencionar la contaminación) y un límite superior de 0.02 euros por unidad de emisiones (kton/año de  $\text{CO}_2$ ). Este límite se ha puesto con el propósito de evitar que la carga impositiva de los sectores productivos pueda ser excesivamente elevada en relación a su producción<sup>2</sup>.

En cuanto a los objetivos de política, se presentan dos tipos de aproximaciones al diseño de la política pública. La primera aproximación (presentada en la sección 3) es de tipo biobjetivo, suponiendo que el gobierno se preocupa únicamente por dos objetivos de política. El primero consiste en incentivar la actividad económica. A efectos de normalización, en vez de incluir como objetivo el valor absoluto de la producción, se toma el crecimiento real de la misma, calculada como la tasa de crecimiento interanual del PIB medido en euros constantes (según los precios observados en el año 2000), que se denota como  $g_Q$ :

$$g_Q = \frac{PIB_{2000} - PIB_{1999}}{PIB_{1999}} \cdot 100 \quad (10)$$

Donde  $PIB_{1999}$  es el producto interior bruto del año 1999 y en el modelo se toma como una constante dada exógenamente. El  $PIB$  del año 2000 se obtiene como la suma del valor real de la producción de los distintos sectores. Como la producción del año 1999 está dada, el objetivo de maximizar el crecimiento es totalmente equivalente al de maximizar la producción de 2000.

El segundo objetivo es el de reducir las emisiones de  $\text{CO}_2$ . En particular, se incluye como

<sup>2</sup> En particular, cuando el tipo impositivo ambiental alcanza su valor más alto, el sector más intensivamente contaminante (es decir el sector 7, «Producción y distribución de energía eléctrica») soporta un tipo impositivo medio del 8% sobre el valor de su producción.

objetivo de política la tasa de crecimiento (o decrecimiento) de las emisiones de  $\text{CO}_2$  con respecto al valor observado en 2000:

$$g_E = \frac{E - E_{\text{obs}}}{E_{\text{obs}}} \cdot 100 \quad (11)$$

donde  $E$  es el valor de las emisiones obtenido en el modelo y  $E_{\text{obs}}$  es el valor observado en 2000.

Posteriormente (en la sección 4), se aumenta el grado de realismo del ejercicio incluyendo como objetivos adicionales el nivel de desempleo,  $u$ , el déficit público,  $DP$ , —véase la ecuación (1)— y la presión fiscal,  $PF$ , definida como el porcentaje que representa la recaudación impositiva total sobre el PIB.

### 3. POLÍTICAS EFICIENTES EN CUANTO A CRECIMIENTO Y EMISIONES

Como primera aproximación al diseño de las políticas eficientes, supongamos que el gobierno únicamente está preocupado por dos objetivos de política: obtener un crecimiento económico tan alto como sea posible y reducir lo máximo posible las emisiones de  $\text{CO}_2$ .

El cuadro n.º 1 muestra la llamada *matriz de pagos*, que se obtiene optimizando cada

uno de los objetivos de política por separado. Así, para obtener los valores de la primera fila, se resuelve el problema de maximizar el crecimiento económico sin considerar las consecuencias que ello tenga para las emisiones contaminantes. En dicho problema de optimización se incluyen como restricciones todas las ecuaciones que constituyen el modelo de equilibrio general, para garantizar que las soluciones obtenidas son coherentes con dicho modelo. Si todos los instrumentos de política (dentro de los límites establecidos) se orientasen al logro del máximo crecimiento económico, los resultados muestran que sería factible obtener una tasa de crecimiento del 4,94%. Sin embargo, esta política tendría como efecto secundario un volumen de emisiones de 280.265,23 kton/año de  $\text{CO}_2$ , lo que constituye en un incremento del 0,59% con respecto al valor observado en 2000.

Si, por el contrario, el gobierno orientase todos sus esfuerzos a diseñar una política de control de las emisiones contaminantes, éstas se podrían reducir hasta 274.627,82 kton/año, lo que supone un descenso de aproximadamente el 2% con respecto al valor observado. Sin embargo, dicha política tendría como consecuencia una tasa de crecimiento económico del 3,45%, es de-

Cuadro n.º 1

#### Matriz de pagos crecimiento-emisiones $\text{CO}_2$

|                   | $g_Q$ Crec. Econ. (%) | $g_E$ Crec. Emis (%) |
|-------------------|-----------------------|----------------------|
| $\text{Max } g_Q$ | 4,94                  | 0,59                 |
| $\text{Min } g_E$ | 3,45                  | -2,01                |

Fuente: Elaboración propia.

cir, un punto y medio por debajo del máximo valor alcanzable. Estos resultados permiten confirmar numéricamente que existe un conflicto entre los dos objetivos de política, en el sentido de que no es posible obtener simultáneamente el mejor resultado posible para los dos objetivos.

Al comparar el valor de los instrumentos de política empleados en cada una de las dos soluciones, se obtiene el resultado (bastante esperable) de que la estrategia de maximizar el crecimiento conlleva fijar el tipo impositivo sobre las emisiones contaminantes en un valor nulo y la estrategia de control de las emisiones requiera fijar dicho tipo impositivo en su valor más alto (0,02 € por kton/año de emisiones). Por otra parte, la maximización del crecimiento aconseja una reducción de los demás impuestos indirectos mientras que la reducción de las emisiones implica un aumento de los mismos (tanto el IVA como la cuota patronal a la Seguridad Social). Por otra parte, las dos soluciones implican un aumento en los impuestos directos (IRPF y cuota obrera). Finalmente, la solución de maximizar el crecimiento conlleva esencialmente un desplazamiento del gasto público hacia el sector 17 (vehículos) y la solución de minimizar las emisiones un sesgo del gasto público hacia el sector 25 (otros servicios) que es uno de los menos contaminantes.

A continuación se aborda la identificación de las combinaciones eficientes de política. La idea es lograr determinados niveles de crecimiento con el mínimo volumen posible de emisiones o, alternatively, de lograr determinados niveles de emisiones con el máximo crecimiento posible. Para obtener dichas combinaciones eficientes se sigue el llamado método de las restricciones, que consiste en optimizar un objetivo estableciendo un límite paramé-

trico para el otro (siendo arbitrario cuál de los dos objetivos desempeña el papel de objetivo o de restricción). En particular, se ha seguido el siguiente procedimiento: los valores factibles para  $g_E$  oscilan entre -2,01% y 0,59%. Se realiza una partición de este rango en un número finito de tramos. En este caso, 10 valores parecen suficientes para tener una buena aproximación del conjunto de políticas eficientes. Sea  $g_{E_n}$  ( $n=1, \dots, 10$ ) cada uno de los valores de dicha partición. Para cada uno de dichos valores se resuelve el problema de maximizar el crecimiento sujeto a que las emisiones no superen el valor  $g_{E_n}$ , es decir,

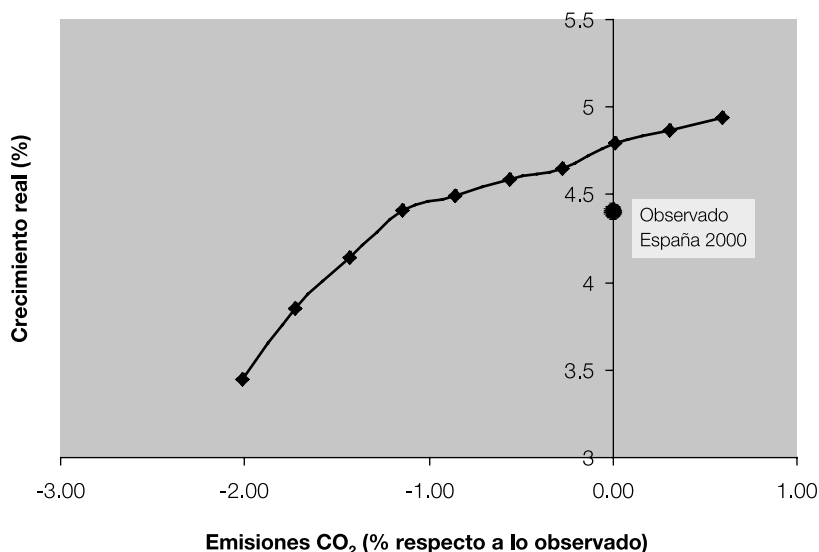
$$\begin{aligned} & \text{Max } g_Q \\ & \text{sujeto a: } g_E \leq g_{E_n} \end{aligned} \quad (12)$$

y todas las ecuaciones del modelo. Por construcción, cada uno de estos problemas proporciona una solución eficiente. El resultado de estos cálculos se ilustra en el gráfico n.º 1.

La primera conclusión que se puede obtener de gráfico n.º1 es que la relación entre ambas variables es monótonamente creciente, es decir, cuanto mayor es el nivel de emisiones contaminantes que el gobierno está dispuesto a aceptar, mayor será el máximo crecimiento económico que se podrá alcanzar. O, simétricamente, cuanto más restrictivas sean las exigencias respecto al control de las emisiones, mayor será el sacrificio requerido en términos de reducción en el nivel de crecimiento económico.

Por otro lado, se observa que la pendiente de la frontera que relaciona ambas variables no es constante. De hecho, la pendiente para niveles bajos de emisiones parece ser mayor que para niveles altos. La interpretación de este resultado es que, según se persigan niveles cada vez mayores

Gráfico n.º 1

**Políticas eficientes crecimiento-emisiones**

Fuente: Elaboración propia.

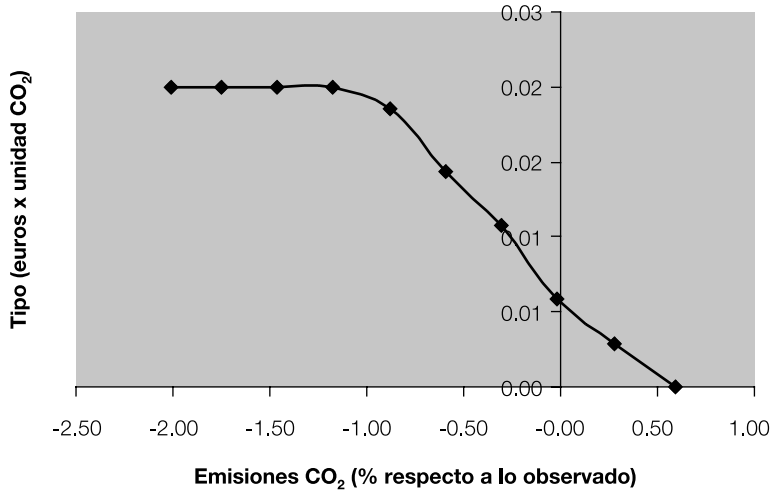
de crecimiento, el logro de dichos objetivos requerirá aceptar incrementos cada vez mayores en términos de emisiones. O, recíprocamente, el establecimiento de objetivos cada vez más ambiciosos de reducción de las emisiones conlleva sacrificios adicionales crecientes en términos de reducciones en la tasa de crecimiento.

En el gráfico n.º 1 también se muestra la combinación de crecimiento económico y evolución de las emisiones observadas en España en el año 2000, es decir,  $g_E = 0$  (por construcción) y una tasa de crecimiento real  $g_Q = 4,4$  (fuente: INE). Obsérvese que dicho punto se encuentra estrictamente por debajo de la frontera eficiente. Ello parece indicar que la política seguida por el gobierno en este año es susceptible de mejora en térmi-

nos de eficiencia si nos basamos en los dos criterios elegidos. En particular, empleando una combinación alternativa de los instrumentos de política, sería posible haber logrado aproximadamente 0,4 puntos adicionales de crecimiento. Alternativamente, los resultados indican que habría sido posible lograr el mismo crecimiento económico con un nivel de emisiones algo más de un punto porcentual por debajo del nivel efectivamente observado en 2000.

En el gráfico n.º 2 se muestra cómo evoluciona el valor óptimo del tipo impositivo al ir recorriendo los puntos de la frontera eficiente de crecimiento-emisiones. Como cabe esperar, cuanto más restrictivo es el objetivo de reducción de emisiones que se pretende lograr, más alto debe ser el im-

Gráfico n.º 2

**Impuesto ambiental a lo largo de la frontera eficiente**

Fuente: Elaboración propia.

puesto ambiental fijado. En particular, si se pretende lograr un descenso de las emisiones superior al 1%, el modelo aconseja situar el tipo impositivo sobre la contaminación en su nivel más alto. Es posible lograr objetivos más modestos con un tipo impositivo más bajo y, según los propósitos de la política se van acercando progresivamente al objetivo de maximizar el crecimiento sin tener en cuenta la contaminación, el tipo impositivo óptimo tiende a cero.

#### 4. POLÍTICAS EFICIENTES CON MÁS DE DOS CRITERIOS

En el apartado anterior se ha mantenido la simplificación de que el único criterio económico que preocupa al gobierno es el de aumentar el crecimiento económico. A con-

tinuación, se pretende aumentar el grado de realismo del ejercicio teniendo en cuenta algunos criterios económicos adicionales, como son el desempleo, el déficit público y la presión fiscal. Supondremos que el gobierno está interesado en obtener un valor lo más bajo posible de estos tres objetivos.

El cuadro n.º 2 representa la matriz de pagos del problema ampliado con los tres nuevos criterios. Igual que en el cuadro anterior, cada fila muestra los resultados correspondientes a la optimización de un solo criterio cuando no se tiene en cuenta ninguno de los demás. Los dígitos de la diagonal principal (en negrita) constituyen los valores óptimos para cada uno de los objetivos. Todos ellos conjuntamente constituyen el llamado punto ideal. En cada columna se muestra subrayado el peor valor de

cada objetivo (el mínimo crecimiento, el máximo aumento de las emisiones, etc.). Todos estos valores, conjuntamente constituyen el llamado punto anti-ideal.

Del cuadro n.º 2 se extraen las siguientes conclusiones: en primer lugar, los objetivos de maximizar el crecimiento y minimizar el desempleo parecen ser totalmente coherentes entre sí hasta el punto de que los dos problemas de optimización proporcionan esencialmente la misma solución (con pequeñas diferencias numéricas que pueden considerarse irrelevantes). Por tanto, el mismo grado de conflicto que la minimización de las emisiones muestra con respecto a la maximización del crecimiento, también lo mostrará respecto a la minimización del desempleo. De hecho, se puede observar que la minimización del desempleo conduce a un incremento de las emisiones del 0,56% con respecto al valor observado, mientras que la minimización de las emisiones conduce al peor valor posible del desempleo, algo más de 2 puntos porcentuales por encima de su valor ideal. Por otra parte, la fila correspondiente a la minimización de las emisiones muestra que dicho

objetivo parece entrar en un fuerte conflicto con todos los objetivos económicos, puesto que requiere aceptar que todos ellos alcancen su valor anti-ideal.

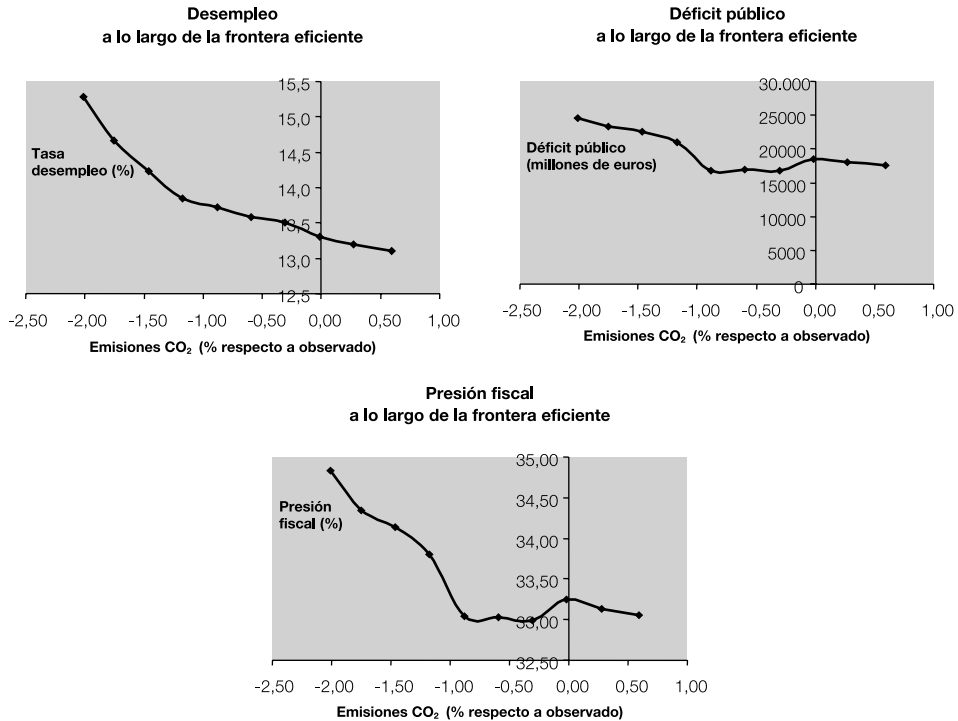
Un análisis algo más detallado muestra que entre la minimización de las emisiones y la minimización del déficit público parece observarse un tipo de conflicto que no es tan nítido como pudiese parecer a primera vista. Mientras que el logro del mínimo déficit público puede ser compatible con una reducción apreciable de las emisiones (0,79%), el intento de lograr una reducción adicional de las emisiones hasta llegar a su mínimo valor factible requiere un fuerte incremento del déficit público hasta 24.545 millones de euros, es decir, algo más de un 70% por encima de su valor ideal. Esto parece sugerir la existencia de una relación no monótona entre ambas variables. Algo similar puede concluirse respecto a la relación entre la reducción de las emisiones y la reducción de la presión fiscal. En el gráfico n.º 3 se muestra el comportamiento del desempleo, el déficit público y la presión fiscal en los distintos puntos de la frontera crecimiento-emisiones mostrada en el gráfi-

Cuadro n.º 2  
**Matriz de pagos con cinco criterios**

|                             | $g_Q$ (%)   | $g_E$ (%)    | $u$ (%)      | DP ( $10^6$ €) | PF (%)       |
|-----------------------------|-------------|--------------|--------------|----------------|--------------|
| <b>Max <math>g_Q</math></b> | <b>4,94</b> | <u>0,59</u>  | 13,10        | 17.588         | 33,06        |
| <b>Min <math>g_E</math></b> | <u>3,45</u> | <b>-2,01</b> | <u>15,28</u> | <u>24.545</u>  | <u>34,84</u> |
| <b>Min <math>u</math></b>   | 4,94        | 0,56         | <b>13,09</b> | 17.680         | 33,05        |
| <b>Min DP</b>               | 4,05        | -0,79        | 14,41        | <b>13.817</b>  | <u>34,84</u> |
| <b>Min PF</b>               | 4,44        | 0,16         | 13,83        | 16.023         | <b>32,96</b> |

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico n.º 3



Fuente: Elaboración propia.

co n.º 1. Se observa que, según se van relajando las exigencias sobre las emisiones (y se persigue un mayor crecimiento), se van consiguiendo resultados cada vez mejores en términos de desempleo. Sin embargo, este movimiento no tiene un efecto uniforme sobre el déficit público y sobre la presión fiscal.

Por otra parte, en el cuadro n.º 2 también se observa un cierto grado de conflicto entre algunos de los objetivos económicos. El caso más claro es el del déficit público, cuya minimización implica aceptar casi un punto menos de crecimiento con respecto al valor ideal, más de un punto adicional de

desempleo con respecto al mínimo valor observable y, como podría esperarse, un elevado valor de la presión fiscal.

Podemos concluir, en primer lugar, que el crecimiento no puede tomarse como una variable que resuma adecuadamente el valor de todos los objetivos económicos que puedan preocupar al gobierno y, en segundo lugar, que las relaciones entre los distintos objetivos de política no son en absoluto triviales y para obtener resultados razonables en términos de dichos objetivos, es preciso incorporarlos expresamente a los problemas de optimización planteados para el diseño de las políticas.

La ampliación del conjunto de objetivos eleva irremediabilmente la dimensión del problema y la consecuencia típica es un aumento exponencial en el número de soluciones eficientes. Dicho problema se puede abordar mediante distintos procedimientos computacionales. El objetivo de este trabajo no es el ofrecer una exploración sistemática del conjunto de soluciones eficientes, sino ilustrar las técnicas que pueden emplear los responsables del diseño de las políticas para construir las mismas de un modo operativo. A continuación se presentan dos posibles enfoques para resolver el problema con cinco objetivos. Una primera posibilidad consiste en emplear nuevamente el método de las restricciones. Para ello, se optimiza un criterio cada vez limitando el valor de los demás mediante restricciones paramétricas. Para establecer dichas restricciones, tomaremos como referencia los valores observados en el año 2000 para cada uno de los objetivos elegidos e incluiremos sendas restricciones que fuercen a que cada uno de los objetivos alcance un valor al menos tan bueno como el observado o mejor. En particular, a partir de la matriz de contabilidad social se obtienen los siguientes valores observados para los objetivos en España en el año 2000:

$$\begin{array}{lll} g_Q = 4,4 & g_E = 0 & u = 14,0 \\ PD = 15.957 \text{ mill. } \text{€} & & PF = 33. \end{array}$$

En primer lugar, resolvemos el siguiente problema, que consiste en buscar el máximo valor posible del crecimiento sujeto a que las emisiones de  $\text{CO}_2$ , el desempleo, el déficit público y la presión fiscal no superen los valores observados:

$$\begin{array}{ll} \text{Max } g_Q \\ \text{sujeto a } g_E \leq 0, u \leq 14,0, PD \leq 15957, PF \leq 33 \end{array} \quad (13)$$

y todas las ecuaciones del modelo

La solución de este problema proporciona los siguientes valores para los objetivos de política:

$$\begin{array}{lll} g_Q = 4,67 & g_E = 0 & u = 13,48 \\ DP = 15957 & & PF = 32,86 \end{array}$$

Obsérvese que esta combinación domina en sentido de Pareto a la situación observada, puesto que se obtiene, no sólo un crecimiento mayor, sino también un desempleo y una presión fiscal menores, todo ello con el mismo nivel de emisiones contaminantes y el mismo déficit público. La mera existencia de esta posibilidad permite concluir que la política observada en la práctica es ineficiente en términos de los cinco objetivos seleccionados y dado el conjunto factible de instrumentos de política.

Mediante cálculos análogos para cada objetivo, se obtienen las soluciones mostradas en el cuadro n.º 3. De este modo, en la segunda fila de la tabla se muestra que, con el mismo crecimiento económico observado en el año 2000, sería posible lograr una reducción de aproximadamente un punto porcentual de las emisiones de  $\text{CO}_2$ . Además, esta solución no implicaría ningún aumento en el déficit público y permitiría obtener, como subproductos, una ligera reducción en el desempleo y en la presión fiscal respecto a los valores en el 2000. Conclusiones similares se pueden obtener para los demás objetivos.

Estos cálculos proporcionan una primera aproximación para la construcción del conjunto de políticas eficientes. Sin embargo, sólo se puede garantizar que una solución obtenida mediante el método de las restricciones es eficiente en el caso de que las restricciones paramétricas impuestas sobre los demás objetivos resulten estar saturadas. Aunque todas las soluciones del cuadro n.º 3 dominan en el sentido paretiano a la situa-

Cuadro n.º 3

**Método de las restricciones con cinco objetivos**

|                             | $g_Q$ (%) | $g_E$ (%) | $u$ (%) | DP (10 <sup>6</sup> €) | PF (%) |
|-----------------------------|-----------|-----------|---------|------------------------|--------|
| <b>Max <math>g_Q</math></b> | 4,67      | 0,00      | 13,48   | 15.957                 | 32,86  |
| <b>Min <math>g_E</math></b> | 4,40      | -1,03     | 13,86   | 15.957                 | 32,90  |
| <b>Min <math>u</math></b>   | 4,46      | 0,00      | 13,48   | 15.878                 | 32,96  |
| <b>Min DP</b>               | 4,40      | -0,54     | 13,88   | 14.578                 | 32,74  |
| <b>Min PF</b>               | 4,40      | -0,47     | 13,88   | 15.054                 | 32,74  |

Fuente: Elaboración propia.

ción observada, en todas ellas hay alguna o algunas restricciones que no están saturadas. Por tanto, no es posible garantizar que esas soluciones sean eficientes. Un posible camino para garantizar la obtención de soluciones eficientes consiste en endurecer las restricciones paramétricas, es decir, aumentar el valor de los límites para las restricciones del tipo «mayor o igual» o reducir los límites para las restricciones del tipo «menor o igual» hasta obtener una solución en la cual todas las restricciones se saturen. Dicho endurecimiento podría realizarse empleando información sobre las preferencias del gobierno acerca del logro de los distintos objetivos.

Otro posible enfoque para la obtención de combinaciones eficientes de política es el llamado método de las ponderaciones. Este método consiste en maximizar una suma ponderada del valor de todos los objetivos de política normalizados. En este caso, se trata de maximizar la siguiente función objetivo:

$$\omega_Q \frac{g_Q - g_Q^*}{g_Q - g_Q^*} + \omega_E \frac{g_E - g_E^*}{g_E - g_E^*} + \omega_u \frac{u - u^*}{u - u^*} + \omega_{DP} \frac{DP - DP^*}{DP - DP^*} + \omega_{PF} \frac{PF - PF^*}{PF - PF^*} \quad (14)$$

donde  $X^*$  representa el valor ideal y  $X$  el valor anti-ideal del objetivo  $X$  tal y como se muestran en el cuadro n.º 3. Como los objetivos están medidos en unidades diferentes es preciso realizar una normalización para eliminar las unidades y que la suma tenga sentido. Dicha normalización se puede realizar dividiendo por el recorrido de cada objetivo, es decir, por la diferencia entre su valor ideal y su valor anti-ideal. Si se divide la diferencia entre el valor observado del objetivo y el valor anti-ideal por el recorrido se obtiene un ratio que, por construcción, está acotado entre cero (cuando se alcanza el valor anti-ideal) y uno (cuando se alcanza el valor ideal). Los coeficientes  $\omega$  son parámetros relacionados con las preferencias que miden la importancia que el decisor otorga a cada objetivo. A modo de ejemplo, supongamos que el decisor otorga igual importancia a la optimización de todos los objetivos y, en consecuencia, decide fijar un valor para dichos parámetros  $\omega_Q = \omega_E = \omega_u = \omega_{DP} = \omega_{PF} = 1$ . La maximización de la suma ponderada dada en la ecuación

(14) con ponderaciones iguales da lugar a los siguientes valores de los objetivos:

$$g_Q = 4,42 \quad g_e = -0,9 \quad u = 13,83 \\ DP = 14552 \quad PF = 32,69$$

Y se observa que esta solución domina a la observada en sentido de Pareto puesto que permite alguna mejora en todos y cada uno de los objetivos. Mediante el uso de distintas combinaciones de los parámetros  $\omega$  se pueden ir obteniendo distintas soluciones eficientes que respondan a distintas configuraciones de las preferencias de los responsables del diseño de la política. Por ejemplo, el caso extremo en que  $\omega_i = 1$  para un determinado objetivo  $i$  y  $i$  y  $\omega_j = 0$  para el resto  $.j \neq i.$ , corresponde con una situación en que el gobierno únicamente está interesado en la optimización del objetivo  $i$ . El problema de decisión resultante sería un problema de optimización monocriterio como los resueltos para construir la matriz de pagos del cuadro n.º 2.

## 5. CONCLUSIONES

Si contrarrestar el cambio climático resulta ser una prioridad relevante en el diseño de las políticas públicas, no resulta menos relevante determinar los sacrificios económicos que dicho propósito conlleva. La necesidad de compaginar la lucha contra el cambio climático con otros objetivos de naturaleza económica en el diseño de las políticas públicas, da lugar a un problema de decisión con múltiples criterios que entran en conflicto entre sí. En este trabajo se propone un método para el diseño de políticas públicas atendiendo expresamente a este conflicto. El concepto de políticas eficientes permite expresar de un modo sencillo y operativo el propósito de lograr resultados tan buenos como sea factible en

cada uno de los objetivos, asumiendo para ello el menor sacrificio posible en términos de los demás objetivos.

La novedad metodológica de este trabajo consiste en incluir el objetivo de reducir las emisiones contaminantes como un criterio de política adicional dentro de una línea previa de investigación que se apoya en la combinación de métodos de decisión multicriterio y la modelización de equilibrio general aplicado. Otra novedad, esta vez de tipo estadístico, consiste en emplear la matriz de contabilidad social del año 2000 para España.

Un modelo calibrado para la economía española permite realizar una aproximación del conjunto de políticas eficientes una vez que se determine el conjunto relevante de objetivos. Así, es posible obtener una estimación del sacrificio que supone cada objetivo de reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> medido en puntos de crecimiento económico a los que es preciso renunciar. El método empleado también permite determinar en qué sentido debería modificarse el empleo de los distintos instrumentos de política para lograr cada combinación de crecimiento y emisiones contaminantes.

Los resultados muestran que una política convenientemente orientada (básicamente mediante una reducción los impuestos indirectos compensada con un aumento de los impuestos directos y un desplazamiento del gasto público hacia determinados sectores particularmente dinámicos, como el de los vehículos) podría lograr una tasa de crecimiento económico de casi cinco puntos porcentuales, aunque ello llevaría aparejado un aumento de las emisiones contaminantes en aproximadamente un 0,6% con respecto a su valor observado. Si, por el contrario, el gobierno centrara sus esfuerzos en combatir el cambio climático, y estuvie-

se dispuesto a aceptar un menor crecimiento económico, podría lograr una reducción de las emisiones contaminantes en aproximadamente un 2% con respecto a su valor de referencia. Para ello debería instaurar una fuerte política de gravamen de las emisiones contaminantes y elevar el resto de impuestos. Además, debería reducir el gasto público destinado a los sectores más contaminantes y compensarlo con elevaciones en el gasto de sectores menos contaminantes como el de «otros servicios». Un somero análisis de la situación observada en España en el año 2000 permite estimar que el mismo nivel de actividad económica podría haberse logrado con 1% menos de emisiones contaminantes o que, sin aumentar las emisiones de CO<sub>2</sub>, habría sido factible lograr 0,4 puntos adicionales de crecimiento económico.

Este modelo se puede ampliar (con las debidas adaptaciones computacionales) para incluir un número suficientemente amplio de objetivos. En este trabajo se ha ilustrado cómo se puede abordar un problema en que existen múltiples objetivos de tipo económico. Por sencillez, se ha mantenido el supuesto de que el propósito de combatir el cambio climático se puede representar de modo suficiente mediante el objetivo de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Una forma de generalizar los resultados de este trabajo consisten en incluir otros indicadores de tipo ambiental como objetivos adicionales de política. Una primera aproximación en este sentido se ha realizado en otro documento de esta misma línea de investigación, André, Cardenete y Romero (2007), en el que se incluye la reducción de otros contaminantes como objetivos de política<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Dicho trabajo utiliza, sin embargo, una base de datos más antigua. Por otra parte, el propósito no es el de encontrar políticas eficientes, sino las llamadas políticas satisfactorias mediante otro enfoque del tipo multicriterio: la programación por metas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRÉ, F.J., Y CARDENETE, M.A. (2008) «Defining efficient policies in a general equilibrium model: a multi-objective approach». *Socio-Economic Planning Sciences*, DOI: 10.1016/J.SEPS.2008.11.001.
- (2009) «Designing efficient subsidy policies in a regional economy: A multicriteria decision-making (MCDM)-Computable General Equilibrium (CGE) approach». *Regional Studies*, DOI: 10.1080/00343400802049062.
- ANDRÉ, F.J., CARDENETE, M.A. y ROMERO, C. (2008) «Using compromise programming for macroeconomic policy making in a general equilibrium framework: theory and application to the spanish economy». *Journal of the Operational Research Society*, 59: 823-875-88.
- (2009) «A Goal Programming Approach for a Joint Design of Macroeconomic and Environmental Policies: A Methodological Proposal and an Application to the Spanish Economy». *Environmental Management*. En prensa.
- ANDRÉ, F.J., CARDENETE, M.A. y VELÁZQUEZ, E. (2005): «Performing an environmental tax reform in a regional economy. A computable general equilibrium approach», *Annals of Regional Science*, 39: 375-392.
- ARMINGTON, P.S. (1969): «A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production». *International Monetary Fund, Staff Papers*, 16: 159-178.
- BELL, M.L., HOBBS, B.F Y ELLIOT, E.M., ELLIS, H. Y ROBINSON, Z. (2001): «An evaluation of multi-criteria methods in integrated assessment in climate policy», *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 10: 229-56.
- BELL, M.L., HOBBS, B.F. Y ELLISM, H. (2003): «The use of multi-criteria decision-making methods in integrated assessment of climate change: implications for IA practitioners» *Socio-Economic Planning Sciences*, 37: 289-316.
- BÖHRINGER, C., LÖSCHEL, A. Y RUTHERFORD, T.F. (2006): «Efficiency gains from “what”-flexibility in climate policy an integrated CGE assessment», *The Energy Journal*, 27 (número especial «Multi-Greenhouse Gas Mitigation»): 405-424.
- BRODY, S.D., GROVER, H., BERNHARDT, S. TANG, Z., WHITAKER, B. Y SPENCE, C. (2006): «Identifying potential conflict associated with oil and gas exploration in Texas State coastal waters: A multicriteria spatial analysis», *Environmental Management*, 38: 597-617.
- CARDENETE, M.A. Y FUENTES, P. (2007): «Una matriz de contabilidad social para España 2000», mimeo.
- DOUKAS, H., PATLITZIANAS, K.D. Y PSARRAS, J. (2006): «Supporting sustainable electricity technologies in Greece using MCDM», *Resources Policy*, 31: 129-136.
- KEHOE, T.J., SRINIVASAN, T.N. Y WALLEY, J. WHALLEY (eds.). (2005): *Applied General Equilibrium Modeling*: Cambridge Univ. Press..
- KONIDARI, P. Y MAVRAKIS, D. (2007): «A multi-criteria evaluation method for climate change mitigation policy instruments», *Energy Policy*, 35: 6235-6257.
- KREMERS, H. NIJKAMP, P. Y WANG, S. (2002): «A comparison of computable general equilibrium models for analyzing climate change policies», *Journal of Environmental Systems*, 28: 41-65.
- LIU, K.F.R. (2007): «Evaluating environmental sustainability: an integration of multiple-criteria decision-making and fuzzy logic», *Environmental Management*, 39: 721-736.
- MANSURA, A. AND WHALLEY, J. (1984): «Numerical Specification of Applied General Equilibrium Models: Estimation, Calibration, and Data», in SCARF H. and SHOVEN J. B. (Eds.) *Applied General Equilibrium Analysis*, 69-117.
- MENDOZA, G. Y MARTINS, H. (2006): «Multi-criteria decision analysis in natural resource management: a critical review of methods and new modelling paradigm», *Forest Ecology and Management*, 230: 1-22.
- MAVROTAS, G., ZIOMAS, I.C. Y DIAKOUAKI, D. (2006): «A Combined MOIP-MCDA approach to building and screening atmospheric pollution control strategies in urban regions», *Environmental Management*, 38: 149-160.
- NIJKAMP, P., WANG, S. Y KREMER, H. (2005): «Modeling the impacts of international climate change policies in a CGE context: The use of the GTAP-E model» *Economic Modelling*, 22: 955-974.
- O'RYAN, R., DE MIGUEL, C., MILLAR, S. Y MUNASNIGHE, M. (2005): «Computable general equilibrium model analysis of economywide cross effects of social and environmental policies in Chile», *Ecological Economics*, 54: 447-472
- SCHAFER, A. Y JACOBY, H.D. (2005): «Technology detail in a Multisector CGE Model: Transport under Climate Policy», *Energy Economics*, 27: 1-24.

SPRINGER, K. (2003): *Climate Policy in a Globalizing World: A CGE Model with Capital Mobility and Trade*. Kieler Studien, Springer.

WILLENBOCKEL, D. (2004): «Specification Choice and Robustness in CGE Trade Policy Analysis with Imperfect Competition», *Economic Modelling*, 21: 1065-99.

YAO, S. Y LIU, A. (2000): «Policy Analysis in a General Equilibrium Framework», *Journal of Policy Modeling*, 22: 589-610.