

# El cambio climático

## y los modelos de equilibrio general

Héctor M. Bravo Pérez\*

---

### Introducción

El principal objetivo de este trabajo es mostrar la forma en que se estimarían los costos en el bienestar y en la eficiencia económica de gravar el consumo de combustibles fósiles con un impuesto *ad valorem*, esto con el fin de disminuir la demanda del insumo y por ende la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido a la atmósfera. Los costos de evitar emisiones de CO<sub>2</sub> dependen, desde luego, de las posibilidades de sustitución entre distintos tipos de energía y entre la energía y otros factores de la producción. Así, mientras mayores sean las opciones de producción entonces menor será el costo de cumplir con una reducción de emisiones especificada.

Las evaluaciones económicas del consumo de energía y sus opciones de sustitución y tecnologías pueden realizarse, desde el punto de vista metodológico en dos grandes opciones que son complementarias. Así, una forma de evaluación son los modelos *bottom-up* que, con un enfoque microeconómico, detallan, de manera muy precisa, los requerimientos de energía y generalmente tienden a centrarse en un sector de la economía en particular o en un pequeño grupo de sectores. La otra opción son los modelos *top-down* que optan por una aproximación macroeconómica. Los Modelos de Equilibrio General Aplicado (MEGA), quedan en la segunda opción, y permiten trazar relaciones entre costos de combustibles, métodos de producción y decisiones del consumidor en la economía de una manera internamente consistente. Sin embargo, estos modelos generalmente incluyen menos detalle en la especificación de los procesos energéticos. La sustitución entre combustibles es generalmente modelada con funciones de producción que pueden sustituir suavemente el uso de energía en lugar de modelar sustituciones discretas entre alternativas.

El análisis realizado se basó en la construcción de un modelo simplificado de equilibrio general computable de la economía mexicana. La información necesaria para el desarrollo de esta metodología se resume y sistematiza en una matriz de contabilidad social (SAM por sus siglas en inglés). Esta es una matriz cuadrada que contiene información de la matriz de insumo-producto orlada con las instituciones necesarias para reflejar el equilibrio de referencia. Este equilibrio tiene dos funciones básicas, por un lado, proporciona la mayoría de la información necesaria para la calibración del modelo y por

\* Es Profesor de la Facultad de Economía de la UNAM y tutor del programa de Posgrado en Economía.

otro representa el valor contra el cual se contrastarán las distintas políticas simuladas. En este caso, se utilizó la matriz de Insumo-Producto actualizada al año 2000.

### Revisión de la literatura

La propuesta de política pública analizada es la aplicación de un impuesto al carbón sobre cada combustible fósil que sea proporcional a la cantidad de dióxido de carbono emitido al ser consumido. En este caso, se supone que la combustión de cada combustible incide sobre el medio ambiente solamente a través de sus efectos sobre emisiones de carbón. En este contexto, el impuesto óptimo de Pigou sobre cada combustible será proporcional a su emisión de CO<sub>2</sub>, Poterba(1993).

De acuerdo a Poterba (1993) deben resaltarse dos puntos importantes en la aplicación del impuesto al carbón. En primer lugar, que la combustión de combustible fósil crea muchas externalidades potenciales distintas al cambio climático, en este caso, las tasas óptimas sobre varios combustibles fósiles pueden diferir de aquellas prescritas por un simple análisis de producción relativa de CO<sub>2</sub>. En muchos estudios, por ejemplo Boyd *et al.* (1995), se ha evaluado la contaminación del aire local y otras externalidades asociadas con el uso de combustibles fósiles. El segundo problema, de acuerdo a Poterba (1993), en la implementación de un impuesto es que en la mayoría de las naciones desarrolladas ya tienen impuestos a los combustibles fósiles y donde muchos de los impuestos existentes están ya justificados por necesidades recaudatorias más que por una corrección de las externalidades. En este sentido, debe considerarse ¿Cómo se pueden combinar los impuestos al CO<sub>2</sub> con los impuestos preexistentes? ya que es poco probable que los impuestos pre-existentes hayan sido fijados con los criterios de optimalidad de Ramsey y de Pigou al añadirse los impuestos al CO<sub>2</sub> habría que realizarse un análisis de segundo mejor.

Para realizar un análisis de segundo mejor puede ser más sencillo si se realiza el análisis a través de un Modelo de Equilibrio General Aplicado, ya que este tipo de modelos permite procesar información sobre el efecto en toda la economía ante el cambio de alguna variable exógena.

Los MEGAS son una herramienta muy popular para el análisis de política impositiva (Devarajan, 1988; Devarajan & Hossain, 1998; Gooroochurn & Milner, 2005; Kumbaro ̃glu, 2003; Toh & Lin, 2005; Yilmaz, 1999). En la actualidad se han diseñado un gran número de MEGAS para analizar la po-

lítica fiscal que tienen como objetivo disminuir la emisión de carbón, por ejemplo, Gottinger (1998) empleó un MEGA desarrollado en el contexto de los modelos ambientales-energía-economía, para simular los impactos en la economía de la Unión Europea de diversos instrumentos de política multilateral, incluyendo impuestos contra efecto invernadero; Kemfert y Welsh (2000) comparan los efectos económicos de impuestos al carbón bajo diferentes elasticidades de sustitución energía-capital-trabajo usando un modelo dinámico multisectorial. Scrimgeour, Oxley y Fatai (2005) compararon las tasas de impuestos requeridas y la efectividad relativa de impuestos al carbón, energía y petróleo sobre la economía de Nueva Zelanda.

Asimismo, usando un MEGA intertemporal para la economía de Noruega, Bye (2000) analiza los costos en el bienestar no medioambiental de incrementar la tasa de impuesto al carbón con una reducción en los impuestos persistentes, al igual que Goulder(1995) que utilizó un MEGA intertemporal dinámico para analizar sobre la economía de Estados Unidos con las distorsiones de impuestos pre existentes. Fisher-Vanden, Shulka, Edmonds, Kima y Pitcher (1997) estimaron los costos de mitigación en India. Wender (2001) empleó un MEGA dinámico para analizar la reforma de impuestos medioambientales en Austria, en este trabajo se evalúa los efectos de usar la recaudación por CO<sub>2</sub> para financiar parcialmente el sistema de pensiones y concluir que comparado con otras simulaciones de política también ayudan a la disminución de CO<sub>2</sub>, la opción “CO<sub>2</sub>-cum-pensión” sería la más favorable en términos de crecimiento, demanda de servicios de trabajo, inversión privada y consumo.

Zhang y Baranzini(2004) hicieron una revisión de los estudios empíricos sobre los impuestos existentes carbón/energía, ellos puntualizan en que la manera en que se recircula la recaudación es de fundamental importancia para determinar el impacto económico de los impuestos al carbón.

La evidencia de los impactos del calentamiento global han llevado a sugerir diversas políticas de mitigación, así, por ejemplo, la Unión Europea a finales del 2006 propuso un objetivo muy ambicioso de reducir sus emisiones de gas, para el año 2020 a 20% de los niveles de 1990. Como parte de las negociaciones de acceso a la Unión Europea, Turquía espera enfrentar una presión adicional para introducir un plan de cambio climático con niveles de emisión mínimas específicas de abatimiento, Çağatay Telli, Ebru Voyvoda, Erinc, Yeldan(2007). Dada esta motivación los autores utilizan un modelo de equilibrio general computable para estudiar los impactos económicos de los escenarios de política para cumplir con los compromisos del protocolo de Kyoto, utilizan un modelo en la tradición walrasiana con 10 sectores de

producción y un gobierno operando en una macroeconomía abierta, se modela proponiendo funciones de producción flexibles, sustitución imperfecta en el comercio y desempleo abierto.

## Modelo

El equilibrio general computable ha sido un área de investigación muy importante para los economistas en los últimos veinte años, es una aproximación de modelaje en la cual se intenta simular numéricamente la estructura de equilibrio general de una economía, la metodología permite no solo representar la economía sino que también posibilita la evaluación del impacto total de los efectos de las políticas. El marco teórico en el cual se basan los modelos MEGA es bien conocido, el proceso de aplicar el marco teórico a modelos numéricos se había visto frustrado por mucho tiempo por la falta del desarrollo de *software* especializado. Surgieron dos alternativas: Johansen (1960) pionero en usar aproximaciones lineales para encontrar equilibrios contrafactuales a partir de la solución de equilibrios de referencia. Los trabajos de Scarf (1969) y de Scarf y Hansen (1973), entre otros, desarrollaron un algoritmo para soluciones numéricas, con lo cual proporcionaron los fundamentos para una metodología alternativa, en ésta las soluciones se derivan resolviendo el modelo completo. Esta aproximación es la que se usa en la mayoría de los trabajos recientes donde se utilizan modelos MEGA.

El análisis numérico de equilibrio general descansa en la estructura walrasiana de equilibrio general, el cual fue formalizado en 1951 por Arrow, Debreu y otros, resultando en el bien conocido modelo Arrow-Debreu, elaborado en Arrow y Hahn (1971). El modelo identifica un número de consumidores, cada uno de los cuales se supone que posee una dotación inicial de un número de bienes y factores y un conjunto de preferencias. De la maximización de la utilidad se obtienen las funciones de demanda para cada bien y las demandas de mercado se definen como la suma de cada una de las demandas individuales. Las demandas de mercado de los bienes dependen de todos los precios, éstas son continuas, no negativas, homogéneas de grado cero y satisfacen la ley de Walras, de tal manera que a cualquier conjunto de precios, el valor total del gasto del consumidor iguala a su ingreso.

La tecnología utilizada en la producción se describe ya sea por funciones de producción con rendimientos constantes o decrecientes a escala y por productores maximizadores de beneficios. La homogeneidad cero de las funciones de demanda junto con la homogeneidad lineal de beneficios con respecto a los precios, implica que solamente los precios relativos son relevantes para estos modelos y los precios absolutos no tienen ningún impacto.

Un equilibrio en este modelo se caracteriza por un conjunto de precios y niveles de producción en cada industria de tal manera que, para todos los bienes, cada demanda de mercado iguala a la oferta de mercado.

El análisis de equilibrio general predice que bajo ciertos supuestos un equilibrio existe. La prueba de existencia de un equilibrio general fue hecha por Arrow y Debreu (1954), extensiones a estos resultados han sido proporcionados por Debreu (1959) y Arrow y Hahn (1971).

En este modelo todos los agentes son precio aceptantes, con un gobierno que recauda impuestos y consume bienes en nombre y representación de la sociedad. En la economía existen tres tipos de agentes: un consumidor representativo, un productor para cada uno de los sectores en los que se divide la economía y un gobierno que se encarga de recaudar el impuesto al consumo de energía.

### Bienes

Los bienes que se producen en esta economía son los siguientes: 1) sector primario, 2) carbón y derivados, 3) extracción de petróleo y gas, 4) mineral de hierro, 5) sector minero, 6) sector industria alimenticia, 7) sector industria del vestido, 8) sector industria maderera, 9) refinación de petróleo, 10) petroquímica básica, 11) sector química, hule y cemento, 12) sector metal y construcción, 13) electricidad gas y agua y 14) sector servicios. Para denominar a los bienes se utilizará el subíndice  $i$  cuyo rango va de 1 a 14. Los consumidores también pueden consumir un bien importado, que se denomina  $x_e$ .

Como se suponen mercados completos, cada bien nacional tiene un precio que se denominará  $p_i$ , el bien importado, que se considera un bien compuesto, tiene un precio  $p_e$ .

### Factores

En esta economía hay dos factores, capital,  $K$  y trabajo,  $L$ , cuyos precios son  $r$  y  $w$  respectivamente, el consumidor es el propietario de la totalidad de estos factores y deriva ingresos de la renta de ambos.

### Consumidor

El consumidor representativo en esta economía tiene preferencias, que pueden ser representadas por medio de una función de utilidad  $U(x_i, x_e)$ , función que tiene como parámetros a todos los bienes que se producen en la economía y por un bien importado, se asume que el consumo de todos los bienes

producen utilidad marginal positiva, por tanto  $(U(x_i, x_e))$ , por otro lado, la función de utilidad es cuasicóncava por lo que: y por un bien importado, se asume que el consumo de todos los bienes producen utilidad marginal positiva, por tanto  $\frac{\partial u(x_i, x_e)}{\partial x_i} \geq 0$ ;  $\frac{\partial u(x_i, x_e)}{\partial x_e} \geq 0$ ; por otro lado, la función de utilidad es cuasicóncava por lo que:  $\frac{\partial^2 u(x_i, x_e)}{\partial x_i^2} \leq 0$ ;  $\frac{\partial^2 u(x_i, x_e)}{\partial x_e^2} \leq 0$ ; y  $\frac{\partial^2 u(x_i, x_e)}{\partial x_i \partial x_e} \geq 0$ ;

Por otro lado, los factores de la producción en la economía, capital y trabajo, le pertenecen totalmente al consumidor y de ellos deriva sus ingresos, además, recibe transferencias de parte del gobierno,  $T$ , por lo que su ingreso se encuentra determinado por la relación:  $W = rK + wL + T$ .

El modelo asume comportamientos optimizadores por parte de los agentes, al maximizar la utilidad sujeta a los ingresos derivados de la renta de sus factores se encuentra la demanda marshalliana por los bienes en la economía, podemos expresar esta función de la siguiente

manera:  $x_i^f = f(p_1, \dots, p_{14}, p_e, wL + rK + T)$ ,  $\forall i = 1, \dots, 14$ .

### Productor

Cada uno de los bienes es producido en una industria que actúa en un ambiente de competencia perfecta y produce un bien utilizando bienes intermedios y factores se supone que los productores minimizan los costos sujetos a un nivel de producción dada  $\bar{Y}$ , para alcanzar este nivel de producción se cuenta con una tecnología que puede ser representada por medio de una función de producción,  $f_i(x)$ , donde  $x$  es un vector de  $14 \times 1$ , con características neoclásicas es decir el  $\frac{\partial f(x)}{\partial x_i} \geq 0 \forall i = 1, \dots, 14$ ;  $\frac{\partial^2 f(x)}{\partial x_i^2} \leq 0, \forall 1, \dots, 14$  y  $\frac{\partial^2 f(x)}{\partial x_i \partial x_j} \geq 0 \forall i \neq j$ .

El productor se comporta como si minimizara los costos de producción sujetos a la tecnología para obtener un nivel de producción  $\bar{Y}$ , por lo que el problema que resuelve se puede escribir de la siguiente manera:

$\min \sum_i c_i x_i + w l_i + r k_i$  sujeto a  $f_i(x) = \bar{Y}$ . De la solución de este problema se obtienen las demandas derivadas de factores, que podemos representar de la siguiente manera:  $x_i^h = f(p_1, \dots, p_{14}, p_e, w, r, \bar{Y}) \forall i = 1, \dots, 14, e$ .

### Gobierno

El gobierno consume todo tipo de bienes y financia su gasto con un impuesto indirecto, además, en el equilibrio counterfactual se propone la aplicación de un impuesto *ad valorem* que se aplica al consumo de los bienes carbón y

derivados, extracción de petróleo y gas, refinación de petróleo y electricidad gas y agua y que con esta recaudación reduzca los niveles de impuesto para mantener constante el gasto del gobierno, de tal manera que en cualquier momento el déficit fiscal es cero.

Por tanto la restricción presupuestaria que rige el comportamiento del gobierno es:  $\sum_i \tau_i p_i x_i + \theta_{en} p_{en} x_{en} = p_g x_g$

Donde

$\tau_i$  = impuesto *ad valorem* aplicado a los bienes energéticos

$\theta_{en}$  = impuestos indirectos aplicados a la todos los bienes

### Sector externo

Los bienes importados y los producidos en la economía se consideran sustitutos imperfectos y el sector externo se mantiene en equilibrio.

### La evidencia empírica

El primer resultado que se obtiene en este modelo es la reproducción del equilibrio de referencia descrito en la SAM. Esta posición de equilibrio sirve para comprobar que la calibración ha sido correctamente realizada y para contrastar los resultados de las simulaciones con los distintos valores del impuesto al consumo de energía. Los resultados de la calibración aparecen en el anexo C.

Posteriormente, se realizan las distintas simulaciones con el impuesto *ad valorem* sobre el consumo de energía lo que produce dos efectos directos. Por un lado, se disminuye la demanda de energía y por otro se genera un costo social al introducir el impuesto que genera distorsiones en la economía.

Una vez conocida la disminución de la demanda de energía, que es una variable endógena en el modelo, se calculan *ex post* los valores de las emisiones utilizando los parámetros publicados por el IPCC (1995) que relacionan las toneladas de emisión de CO<sub>2</sub> con el tipo de energía utilizado. Las cantidades de reducción de CO<sub>2</sub> que se reportan en este trabajo son la suma de emisiones a la atmósfera de todos los sectores independientemente de que tipo de combustible utilicen e independientemente del sector energético que se esté gravando, por lo que el efecto de sustitución entre los distintos tipos de energía está incorporado en el resultado de las emisiones totales.

Los resultados obtenidos de la simulación se pueden clasificar en aquellos que tienen que ver con la sustitución de bienes energéticos, los que tie-

nen que ver con el bienestar del consumidor, con la reducción de emisiones y con la pérdida de producción en los distintos sectores de la economía y pueden resumirse en los siguientes párrafos.

1. Utilizando la metodología desarrollada por Shoven y Whalley se cuantificaron los efectos que se producen en la economía cuando se gravan con un impuesto *ad valorem* los insumos energéticos. Para aplicar esta metodología fue necesario construir un modelo de equilibrio general computable en donde se especifica el comportamiento de cada uno de los agentes que componen el modelo, la información necesaria para aplicar la metodología se resume en una matriz de contabilidad social que para el caso que nos ocupa fue actualizada al año 2000. Los bienes gravados fueron: Carbón y derivados, Extracción de petróleo, Refinación de petróleo y Electricidad, gas y agua. El rango de los impuestos simulados va de 10 a 50 por ciento.
2. Los resultados obtenidos indican que el carbón siempre se comportan como un bien sustituto a los demás bienes analizados aunque, dada la tecnología recogida en la SAM, la escala de utilización del carbón es mucho menor que la de los demás insumos energéticos. Por ello no podría reemplazar a ninguno de los otros insumos aunque el costo social de gravar este insumo sea menor.
3. Los resultados obtenidos en esta simulación muestran también que la efectividad en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> es bastante alta, dados los supuestos del modelo, ya que podría lograrse una reducción de 5% en el total de emisiones si se gravan simultáneamente todos sectores energéticos y de hasta de 17% si se gravan con 50% todos los sectores energéticos.
4. Si bien un impuesto como el que se propone en este trabajo logra reducir la emisión, de acuerdo a los resultados del modelo, también tiene costos sociales que podemos apreciar en dos vertientes: los que tienen que ver con bienestar del consumidor y los que se refieren a la disminución en la producción. En términos de variación compensatoria, la pérdida en bienestar cuando se gravan simultáneamente todos los sectores energéticos con 50%, es tres veces superior que cuando se grava a los sectores energéticos con 10%, es decir, la compensación necesaria para que el consumidor alcance el mismo nivel de utilidad que alcanzaría si no se hubieran gravado los sectores energéticos, aumenta tres veces cuando el impuesto aumenta cinco veces.

5. El incremento en los precios de la energía reduce la demanda de energía y provoca una caída del PIB en México de cerca de 2.5%, este decremento es distinto en cada uno de los sectores de la economía. La estimación de los costos económicos que tiene el cambio climático en la economía mexicana (Galindo, 2009) indica que es entonces conveniente participar en un acuerdo internacional de mitigación.

Puede concluirse que el impuesto a la demanda de energía es efectivo para reducir la emisión de contaminantes, sin embargo esto ocasiona costos en bienestar y en el producto, por lo que para poder evaluar si desde el punto de vista social es adecuado la aplicación del impuesto de este tipo, sería necesario la realización de una análisis beneficio/costo donde se incorporarán los beneficios sociales de reducir la mortalidad y la morbilidad ocasionada por la emisión de gases a la atmósfera, lo cual podría ser considerado en una siguiente etapa del proyecto.

### **Bibliografía**

- Armington, P. A. (1969), A theory of demand for products distinguished by place of production. *IMF Staff Papers*, 16(1), pp. 159-178.
- Boyd, R., Krutilla, K., Viscusi, W.K. (1995), Energy taxation as a policy instrument to reduce CO<sub>2</sub> emissions: a net benefit analysis. *J. Environ. Econ. Manage.* 29, 1\_24.
- Bye, B. (2000), Environmental tax reform and producer foresight: An intertemporal computable general equilibrium analysis, *Journal of Policy Modeling*, 22(6), 719-752.
- Cansier, D., & Krumm, R. (1997), Air pollutant taxation: An empirical survey, *Ecological Economics*, 23(1), 59-70.
- Devarajan, S. (1988), Natural resources and taxation in computable general equilibrium models of developing countries, *Journal of Policy Modeling*, 10(4), 505-528.
- Devarajan, S., & Hossain, S. I. (1998), The combined incidence of taxes and public expenditures in the Philippines, *World Development*, 26(6), 963-977.
- Fan, Y., Liang, Q. M., Wei, Y. M., & Okada, N. (2007), A model for China's energy requirements and CO<sub>2</sub> emissions analysis, *Environmental Modelling & Software*, 22(3), 378-393.
- Felder, S., & Schleiniger, R. (2002), Environmental tax reform: Efficiency and political feasibility, *Ecological Economics*, 42(1/2), 107-116.

- Fisher-Vanden, K., & Ho, M. S. (2007), How do market reforms affect China's responsiveness to environmental policy? *Journal of Development Economics*, 82(1), 200-233.
- Fisher-Vanden, K. A., Shukla, P. R., Edmonds, J. A., Kima, S. H., & Pitcher, H.M. (1997), Carbon taxes and India, *Energy Economics*, 19(3), 289-325.
- Galindo, L.M. (2009), *La economía del cambio climático en México*, Secretaría de Hacienda y Secretaría de Medio Ambiente. México.
- Garbaccio, R. F., Ho, M. S., & Jorgenson, D. W. (1999), Controlling carbon emissions in China, *Environment and Development Economics*, 4(4), 493-518.
- 332 Q.-M. Liang *et al.* / *Journal of Policy Modeling* 29 (2007) 311-333.
- Glomsrød, S., & Wei, T. Y. (2005), Coal cleaning: A viable strategy for reduced carbon emissions and improved environment in China? *Energy Policy*, 33(4), 525-542.
- Gooroochurn, N., & Milner, C. (2005), Assessing indirect tax reform in a tourism-dependent developing country, *World Development*, 33(7), 1183-1200.
- Gottinger, H. W. (1998), Greenhouse gas economics and computable general equilibrium, *Journal of Policy Modeling*, 20(5), 537-580.
- Ibarrarán, María E., Boyd, R. (XXXX), Los impuestos al carbono y la economía mexicana. El efecto del cumplimiento de las restricciones impuestas por el calentamiento global. El caso de México, *El Trimestre Económico*, 233-268
- IPCC (2005), Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Kemfert, C., & Welsch, H. (2000), Energy-capital-labor substitution and the economic effects of CO<sub>2</sub> abatement: Evidence for Germany, *Journal of Policy Modeling*, 22(6), 641-660.
- Kokoski, M. y Smith, K. (1987), A General Equilibrium Analysis of Partial-Equilibrium Welfare Measures: The Case of Climate Change, *The American Economic Review*, Vol. 77, No. 3, pp. 331-341.
- Kumbaroğlu, S. G. (2003), Environmental taxation and economic effects: A computable general equilibrium analysis for Turkey, *Journal of Policy Modeling*, 25(8), 795-810.
- Goulder, L. H. (1995), Effects of carbon taxes in an economy with prior tax distortions: An intertemporal general equilibrium analysis, *Journal of Environmental Economics and Management*, 29(3), 271-297.
- Paltsev, S., Reilly, J. M., Jacoby, H. D., Eckaus, R. S., McFarland, J., Sarofim, M., *et al.* (2005), *The MIT emissions prediction and policy analysis (EPPA) model: Version 4*. <http://mit.edu/globalchange/www/MITJPSPGC/Rpt125.pdf>.
- Poterba, J. (1993), Global Warming Policy: A Public Finance Perspective, *The Journal of Economic Perspectives*, Vol. 7, No. 4, pp. 47-63.

- Scrimgeour, F., Oxley, L., & Fatai, K. (2005), Reducing carbon emissions? The relative effectiveness of different types of environmental tax: The case of New Zealand, *Environmental Modelling & Software*, 20(11), 1439-1448.
- Walras, L. (1969), *Elements of pure economics or the theory of social wealth*, New York: A. M. Kelley., 620 pp.
- Wendner, R. (2001), An applied dynamic general equilibrium model of environmental tax reforms and pension policy, *Journal of Policy Modeling*, 23(1), 25-50.
- Yilmaz, K. (1999), Optimal export taxes in a multi-country framework, *Journal of Development Economics*, 60(2), 439-465.
- Zhang, Z. X. (1995), *Integrated economy-energy-environment policy analysis: A case study for the People's Republic of China*, The Netherlands National Research Programme on Global Air Pollution and Climate Change (NOP)., 308 pp.
- Zhang, Z. X. (1998), Macroeconomic effects of CO<sub>2</sub> emission limits: A computable general equilibrium analysis for China, *Journal of Policy Modeling*, 20(2), 213-250.
- Zhang, Z. X., & Baranzini, A. (2004), What do we know about carbon taxes? An inquiry into their impacts on competitiveness and distribution of income, *Energy Policy*, 32(4), 507-518.