

SIMULACIÓN DE UN IMPUESTO AL CO₂e PARA MITIGAR LOS IMPACTOS DEL SECTOR AGROPECUARIO CHILEÑO SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

SIMULATION OF A CO₂e TAX TO MITIGATE IMPACTS FROM CHILEAN AGRICULTURE AND LIVESTOCK SECTOR ON CLIMATE CHANGE

T. Belén Muñoz-Zamponi¹, C. Alejandro Mardones-Poblete^{2*}

¹Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Concepción, Concepción, Chile. (tmunoz@udec.cl). ²Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Concepción, Concepción, Chile. (crismardones@udec.cl).

RESUMEN

En Chile, el sector agropecuario contribuye 40.6 % al total de emisiones de CO₂e. El objetivo de este estudio fue usar el modelo de precios de Leontief para simular los efectos económicos y ambientales que tendría la aplicación de un impuesto a las emisiones de CO₂e de este sector. La metodología fue utilizar la matriz insumo-producto y el modelo de precios de Leontief para caracterizar la estructura actual de precios de los sectores de la economía chilena, luego se introdujeron otras simulaciones de tasas de impuesto ambiental a las emisiones de CO₂e del sector agropecuario, lo cual afecta los costos de producción de éste y de otros sectores, generando efectos en los precios, índice de precios al consumidor, el bienestar privado, la recaudación fiscal y la reducción de emisiones. Los resultados mostraron que la aplicación de impuestos ambientales al sector agropecuario no reduce significativamente las emisiones chilenas. En países que han implementado este tributo un impuesto bajo de US\$1 por Mg de CO₂e reduce las emisiones 0.2 %, un impuesto medio de US\$ 30 por Mg de CO₂e reduce las emisiones 4.0 %, y un impuesto alto, de US\$130 por Mg de CO₂e, reduce solo las emisiones 12.2 %. En este último escenario más restrictivo aumentaría el precio de los productos agropecuarios en 66.1 %, y también elevaría los precios de los sectores silvícola, industria de alimentos, acuícola, industria de la madera, entre otros, lo cual se traduciría finalmente en un aumento de 4.7 % en el índice de precios al consumidor.

Palabras clave: Modelo de precios de Leontief, impuestos ambientales, emisiones de CO₂e.

ABSTRACT

In Chile, the agriculture and livestock sector contributes 40.6 % of total CO₂e emissions. The aim of this study was to use an environmental extension of the Leontief price model to simulate the economic and environmental effects that the application of a tax would have on CO₂e emissions from this sector. We used the methodology of the input-output table and the pricing model of Leontief to characterize the current price structure of the sectors of the Chilean economy; then we introduced several simulations rates of environmental tax on CO₂e emissions in the agriculture and livestock sector, which affects the production costs of this and other sectors, generating impact on prices, consumer price index, private welfare, tax collection and emission reductions. The results showed that the application of environmental taxes in the agriculture and livestock sector does not significantly reduce emissions in Chile. In countries that have implemented this tax, a low tax of US\$1 per Mg of CO₂e reduces emissions by 0.2 %, an average tax of US\$30 per Mg of CO₂e reduces emissions by 4.0 %, a high tax of US\$130 per Mg of CO₂e only low emissions by 12.2 %. In the latter more restrictive scenario, the price of agriculture and livestock products would rise by 66.1 %, as well as the prices of forestry, food processing, aquaculture, wood industry, among other sectors, which will eventually result in an increase of 4.7 % of the consumer price index.

Keywords: Leontief price model, environmental taxes, CO₂e emissions.

INTRODUCTION

In recent decades, climate change has increased global warming as a result of the increased emissions of carbon dioxide and other greenhouse gases. These gases are part of the planet's

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: marzo, 2015. Aprobado: noviembre, 2015.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 50: 271-285. 2016.

INTRODUCCIÓN

En décadas recientes el cambio climático ha aumentado el calentamiento global por emisiones mayores de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero. Estos gases están en forma natural en el planeta y permiten que su temperatura sea suficientemente cálida para el desarrollo de la vida. Sin embargo, su emisión ha aumentado debido a la actividad humana, principalmente por la quema de combustibles fósiles en los procesos industriales, el transporte, la ganadería y los cambios constantes en el uso de la tierra para la agricultura, por lo cual el proceso de calentamiento se percibe acelerado. Según la FAO (2014) los cultivos agrícolas y la ganadería emitieron 5.3 mil millones Mg de CO₂ equivalente³ (CO₂e) el año 2011, aumentando en 14 % desde el año 2001. El incremento ocurrió principalmente en los países en vías de desarrollo por la expansión de la producción agropecuaria. La contribución de Chile a los gases de efecto invernadero generados por la actividad agropecuaria en el mundo es baja (0.7 %), pero las emisiones chilenas de este sector representan 40.6 % del total nacional de emisiones de CO₂e⁴. Además, en la cumbre de cambio climático de 2009, en Copenhague, Chile se comprometió a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en 20 %.

En varios estudios económicos el modelo de insumo-producto de Leontief se utiliza para identificar las emisiones directas e indirectas generadas por el encadenamiento productivo (Alcántara y Padilla, 2006; Linping y Bin, 2010; Su *et al.* 2013), pero en pocos de ellos se utiliza el modelo de precios de Leontief para analizar los impactos de un impuesto a las emisiones.

Alcántara y Padilla (2008) evaluaron las emisiones de CO₂ asociadas con el conjunto de ramas productivas del sector de servicios en España, y refutaron la idea que una economía de servicios es necesariamente una economía menos contaminante. En Tailandia, Limmeechokchai y Suksuntornsiri (2007) calcularon las emisiones directas de GEI en los consumos energéticos finales utilizando los inventarios nacionales de GEI y, además, calcularon la energía indirecta y las emisiones indirectas mediante un modelo

nature and allow a temperature warm enough for the development of life. However, their emissions have increased due to human activity, mainly through the burning of fossil fuels in industrial processes, transportation, livestock and constant changes in land use for agriculture, so the warming process is perceived accelerated. According to FAO (2014) agricultural crops and livestock emitted 5.3 billion Mg of CO₂ equivalent¹ (CO₂e) in 2011, increasing by 14 % since 2001. The increase occurred primarily in developing countries by the expansion of agriculture and livestock production. Chile's contribution to greenhouse gases generated by agriculture and livestock activity in the world is low (0.7 %), but Chilean emissions from this sector represent 40.6 % of the national total CO₂e emissions². Moreover, in the climate change summit in 2009 in Copenhagen, Chile pledged to reduce its greenhouse gas emissions (GHGs) by 20 %.

In several economic studies the Leontief input-output model is used to identify the direct and indirect emissions from the production chain (Alcántara and Padilla, 2006; Linping and Bin, 2010; Su *et al.* 2013), but in few of them the Leontief price model is used to analyze the impact of a tax on emissions.

Alcántara and Padilla (2008) evaluated the CO₂ emissions associated with the set of productive branches of the service sector in Spain, and refuted the idea that a service economy is necessarily a cleaner economy. In Thailand, Limmeechokchai and Suksuntornsiri (2007) estimated the direct greenhouse gas (GHG) emissions in final energy consumption using national GHG inventories and also calculated the indirect energy and indirect emissions by using a Leontief input-output model. According to their findings, the electricity sector mobilized more energy flows and used mainly fossil fuels, but the highest total GHG emitter was the cement industry, whose main sources of emissions are industrial processes and the burning of fossil fuels.

In Brazil, Wachsmann *et al.* (2009) used an input-output model and showed that the contemporary trend towards a more service-oriented economy does not necessarily lead to a decrease in energy use in the country. In Spain, Gemechu *et al.* (2014) used

³ Es una métrica utilizada para comparar las emisiones de diferentes gases de efecto invernadero sobre la base de su potencial de calentamiento global ♦ It is a metric used to compare the emissions from various greenhouse gases based on their global warming potential.

⁴ Este porcentaje se basa en las estimaciones realizadas en el presente estudio ♦ This percentage is based on the estimates made in this study.

insumo-producto de Leontief. De acuerdo con sus resultados, el sector eléctrico movilizó más flujos de energía y utilizó principalmente combustibles fósiles, pero el mayor emisor total de GEI fue la industria del cemento, cuyas principales fuentes emisoras son los procesos industriales y la quema de combustibles fósiles.

En Brasil, Wachsmann *et al.* (2009) usaron un análisis basado en la teoría de insumo-producto y mostraron que la tendencia contemporánea hacia una economía más orientada a los servicios no conduce necesariamente a una disminución en el uso de energía en el país. En España, Gemechu *et al.* (2014) utilizaron un modelo de precios de Leontief y mostraron que el aplicar un impuesto al CO₂ de los sectores más contaminantes induce un aumento leve en el índice de precios al consumidor, reduce las emisiones en 2 %, y afecta negativamente el bienestar económico privado.

En la revisión de literatura realizada no se encontraron estudios acerca de la introducción de impuestos a las emisiones agropecuarias. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue utilizar el modelo de precios de Leontief para simular los efectos económicos y ambientales que tendría la aplicación de un impuesto a las emisiones de CO₂e del sector agropecuario, bajo la hipótesis que el cambio en los precios afectará negativamente a la producción generando una disminución en las emisiones. Este modelo es una alternativa para evaluar los efectos directos e indirectos de la nueva imposición ambiental sobre los precios.

Existen otras alternativas metodológicas intersectoriales más complejas para evaluar el impacto de un impuesto a las emisiones de CO₂e del sector agropecuario. Por ejemplo, usar una matriz de contabilidad social extendida ambientalmente (ESAM), la cual provee información más integrada y completa que la Matriz Insumo-Producto al describir las relaciones entre las actividades económicas, el flujo circular de la renta y las emisiones contaminantes (Xie, 2000), aunque requiere integrar y conciliar un conjunto mayor de datos a partir de diversas fuentes de información (Gallardo y Mardones, 2013). Otra opción es usar una ESAM como base de datos para calibrar un modelo de Equilibrio General Computable (CGE), que permitiría generar simulaciones de impuestos al CO₂e del sector agropecuario realizando supuestos de comportamiento para los agentes económicos y la estructura económica de los países (Liu y Lu, 2015;

a Leontief price model and showed that applying a CO₂ tax on the most polluting sectors induces a minor increase in the consumer prices index, reduces emissions by 2 % and negatively affects private economic welfare.

In the literature review we found no studies about the introduction of taxes on agricultural emissions. Therefore, the objective of this study was to use the Leontief price model to simulate the economic and environmental effects that the implementation of a tax on emissions of CO₂e of the agriculture and livestock sector would have under the hypothesis that the change in prices will negatively affect production generating a decrease in emissions. This model is an alternative to assess the direct and indirect effects of the new environmental tax on prices.

There are other more complex intersectoral methodological alternatives to assess the impact of a tax on CO₂e emissions of the agriculture and livestock sector. For example, using an environmentally extended social accounting matrix (ESAM), which provides more comprehensive and complete information than the Input-Output Table on describing the relationships between economic activities, the circular flow of income and pollutant emissions (Xie, 2000), although it requires to integrate and reconcile a greater data set from various sources of information (Gallardo and Mardones, 2013).

Another option is to use an ESAM as a database to calibrate a Computable General Equilibrium (CGE) model, which would allow to generate simulations of taxes on CO₂e of the agriculture and livestock sector making behavioral assumptions for economic agents and the economic structure of countries (Liu and Lu, 2015; Guo *et al.*, 2014. Mahmood and Marpaung, 2014). However, a CGE model involves a complex computer modeling, increased requirement data for calibration, and less possibilities of replicating the results obtained, regarding the methodology chosen in this research.

MATERIALS AND METHODS

The development of the Leontief price model used a set of data from an Input-Output Table of the Chilean economy (Central Bank of Chile, 2013), and the economic models required for the development of the Leontief model are described below in the context of a tax on CO₂e emissions of the agriculture and livestock sector in Chile.

Guo *et al.*, 2014; Mahmood y Marpaung, 2014). Sin embargo, un modelo CGE involucra una modelación computacional compleja, mayores requerimientos de datos para su calibración, y menores posibilidades de replicar los resultados obtenidos, respecto a la metodología escogida en esta investigación.

MATERIALES Y MÉTODOS

La base para el desarrollo del modelo de precios de Leontief fueron los datos de una Matriz de Insumo-Producto de la economía chilena (Banco Central de Chile, 2013) y se describen, a continuación, los modelos económicos requeridos para el desarrollo del modelo de Leontief en el contexto de un impuesto a las emisiones de CO₂e del sector agropecuario en Chile.

Modelo insumo-producto

A partir de la estructura de la Matriz de Insumo-Producto de un país se puede elaborar un modelo muy simplificado de la economía, el cual permite explicar la interdependencia estructural que existe entre los diversos sectores económicos.

Assumiendo una función de producción del tipo Leontief, el nivel de producción que el sector i -ésimo vende al j -ésimo (X_{ij}) es una proporción constante del nivel de producción del sector j -ésimo (X_j):

$$X_{ij} = a_{ij} \cdot X_j \quad 1 \leq i \leq n, \quad 1 \leq j \leq n \quad (1)$$

Por lo tanto, los coeficientes técnicos registran la necesidad de insumo de cada sector para producir una unidad de producto de dicho sector.

Si se supone que las X_j y X_{ij} ($1 \leq i \leq n$, $1 \leq j \leq n$) son las $n+n^2$ variables endógenas, mientras que las componentes de la demanda final neta de importaciones (y_i) que incluyen consumo, inversión, gasto del gobierno y exportaciones, son las variables exógenas. Así, el modelo para todos los sectores de la economía se puede representar de forma matricial como:

$$x = A \cdot x + y \quad x \in R^{n \times 1} \quad A \in R^{n \times n} \quad y \in R^{n \times 1} \quad (2)$$

donde A se denomina matriz de requerimientos directos, pues sus elementos de matriz indican la proporción en la que se demandan insumos por unidad de producto. Entonces, con álgebra matricial se obtiene la expresión del modelo de Leontief:

$$x = (I - A)^{-1} \cdot y \equiv B \cdot y \quad (3)$$

donde $B \equiv (I - A)^{-1}$ es la matriz de Leontief o de requerimientos totales (directos e indirectos), la cual relaciona la producción de

Input-output model

From the structure of the input-output table of a country it is possible to develop a highly simplified model of the economy, which helps explain the structural interdependence between the various economic sectors.

Assuming a Leontief production function, the level of production that the i th sector sells to j th (X_{ij}) is a constant proportion of the production level of the j th sector (X_j):

$$X_{ij} = a_{ij} \cdot X_j \quad 1 \leq i \leq n, \quad 1 \leq j \leq n \quad (1)$$

Therefore, the technical coefficients record the need for input of each sector to produce one unit of output in this sector.

Assuming that X_j and X_{ij} ($1 \leq i \leq n$, $1 \leq j \leq n$) are the $n+n^2$ endogenous variables, while the components of final demand net imports (y_i) including consumption, investment, government spending and exports are n exogenous variables. Thus, the model for all sectors of the economy can be represented in matrix form as:

$$x = A \cdot x + y \quad x \in R^{n \times 1} \quad A \in R^{n \times n} \quad y \in R^{n \times 1} \quad (2)$$

where A is called the matrix of direct requirements, as its matrix elements indicate the rate at which input per unit of product are demanded. Then, with matrix algebra we obtain the expression of the Leontief input-output model:

$$x = (I - A)^{-1} \cdot y \equiv B \cdot y \quad (3)$$

Where $B \equiv (I - A)^{-1}$ is the Leontief or total requirements (direct and indirect) matrix, which relates the output of each sector X_i to the final demand net after imports. Each b_{ij} element of the Leontief matrix represents the amount of production that sector i should produce to satisfy a unit of final demand net after imports of the j th product (Schuschny, 2005).

Environmental extension of the input-output model

The CO₂e emission intensity of an economic sector is defined as the total CO₂e emissions per unit of production in this sector. Since CO₂e emissions for most sectors come mainly from fossil fuels, there is a direct relationship between energy use and emissions of CO₂e. However, the agriculture and livestock sector and forestry sector are an exception since most of their emissions come from other sources, not fuel use. In the agriculture and livestock sector those standing out are enteric fermentation, manure management, rice cultivation, agricultural land use, burning of agricultural waste, among other activities.

cada sector X_i con la demanda final neta de importaciones. Cada elemento b_{ij} de la matriz de Leontief, representa la cantidad de producción que debería realizar el sector i , para satisfacer una unidad de demanda final neta de importaciones del producto j -ésimo (Schuschny, 2005).

Extensión ambiental del modelo insumo-producto

La intensidad de emisiones de CO₂e de un sector económico se define como la emisión total de CO₂e por unidad de producción de dicho sector. Puesto que las emisiones de CO₂e para la mayoría de los sectores provienen fundamentalmente del uso de combustibles fósiles, existe una relación directa entre uso energético y emisiones de CO₂e. Sin embargo, los sectores agropecuario y silvícola son una excepción puesto que gran parte de sus emisiones provienen de otras fuentes, no del uso de combustible. En el sector agropecuario destacan la fermentación entérica, manejo de estiércol, cultivo de arroz, uso de suelos agrícolas, quema de residuos agrícolas, entre otras actividades. El sector silvícola genera una captura de emisiones de CO₂e por lo cual el valor de las emisiones de CO₂e es negativo.

Las emisiones de CO₂e generadas por la producción de un sector económico se componen de las emisiones directas de ese sector, más las emisiones indirectas debido a la producción de bienes y servicios realizada por otros sectores, pero requeridas por este sector. La intensidad de emisión directa g , es un vector de las emisiones en los que cada elemento g_i representa la cantidad de emisiones directas de CO₂e liberado por unidad producida en el sector i . Entonces, se puede obtener el vector el vector m de intensidades de emisión directas e indirectas:

$$m' = g' \cdot (I - A)^{-1} \quad (4)$$

Mientras el vector de impuesto ambiental a la producción, ε , se calcula multiplicando la intensidad de las emisiones de cada sector por un (φ) precio del contaminante, expresado en US\$/t emitida (Gemechu *et al.*, 2014).

$$\varepsilon = \varphi \cdot g' \cdot (I - A)^{-1} \quad (5)$$

Extensión ambiental del modelo de precios de Leontief

El modelo de insumo-producto también ofrece un esquema para analizar la estructura de los precios de los distintos productos de la economía. Sean p_i los precios unitarios del producto del sector i , entonces el costo (en términos de insumos) de una unidad de producto del sector j es: $\sum_{i=1}^n p_i a_{ij}$. Al suponer que los

The forestry sector generates capture of CO₂e emissions, so the value of such emissions is negative.

The CO₂e emissions generated by the production of an economic sector consist of direct emissions from that sector, plus indirect emissions due to the production of goods and services by other sectors, but required by this sector. The direct emission intensity g is a vector of emissions in which each element represents the amount of direct CO₂e emissions released per unit produced in sector i . So you can get vector m , the vector of intensities of direct and indirect emissions:

$$m' = g' \cdot (I - A)^{-1} \quad (4)$$

On the other hand, the vector of environmental tax on production ε is calculated by multiplying the emission intensity of each sector by a (φ) pollutant price, expressed in US \$/t emitted (Gemechu *et al.*, 2014).

$$\varepsilon = \varphi \cdot g' \cdot (I - A)^{-1} \quad (5)$$

Environmental extension of the Leontief price model

The input-output model also provides a framework for analyzing the structure of the prices of the various products of the economy. If p_i , are the unit prices of the sector i th-, then the

cost (in terms of inputs) of a product unit of sector j is: $\sum_{i=1}^n p_i a_{ij}$. Assuming that sectoral prices are equal to the average cost of production, the unit normalized price of production in each sector j , p_j , can be expressed as the total cost of intermediate inputs and expenditures on the total value added as follows (Llop, 2008):

$$p_j = (1 + \tau_j) \left[\sum_{i=1}^n p_i a_{ij} + (1 + s_j) w l_j + r k_j + (1 + t_j^m) p_j^m m_j \right] \quad (6)$$

where t_j is the ad ty on imports in sector j , p_j^m is the price of imports, and m_j is the import coefficient.

The impact of the introduction of an environmental tax rate (ε_j) on the cost structure of sector j is evaluated by the following equation:

$$p_j^\varepsilon = (1 + \tau_j)(1 + \varepsilon_j) \left[\sum_{i=1}^n p_i a_{ij} + (1 + s_j) w l_j + r k_j + (1 + t_j^m) p_j^m m_j \right] \quad (7)$$

⁵ Si hay captura directa en un sector económico el valor de g_i sería negativo ♦ If there is direct capture in an economic sector g_i value would be negative.

precios sectoriales son iguales al costo medio de producción, el precio unitario normalizado de la producción en cada sector j , p_j se puede expresar como el costo total de los insumos intermedios y los gastos sobre el valor agregado total de la siguiente manera (Llop, 2008):

$$p_j = (1 + \tau_j) \left[\sum_{i=1}^n p_i a_{ij} + (1 + s_j) w l_j + r k_j + (1 + t_j^m) p_j^m m_j \right] \quad (6)$$

donde t_j es el impuesto *ad-valorem* sobre la producción, a_{ij} son los coeficientes técnicos de insumo-producto, s_j es la tasa de impuestos de la seguridad social pagada por el sector j , w es el precio del trabajo (salario), l_j es coeficiente de la mano de obra, r es el precio del capital, k_j es el coeficiente del capital, t_j^m es la tasa *ad-valorem* del arancel a las importaciones en el sector j , p_j^m es el precio de las importaciones y m_j es el coeficiente de importaciones.

El impacto por la introducción de una tasa de impuesto ambiental (ε_j) sobre la estructura de costos del sector j se evalúa mediante la siguiente ecuación:

$$p_j^\varepsilon = (1 + \tau_j)(1 + \varepsilon_j) \left[\sum_{i=1}^n p_i a_{ij} + (1 + s_j) w l_j + r k_j + (1 + t_j^m) p_j^m m_j \right] \quad (7)$$

Al definir el valor agregado (salarios, beneficios) y el valor doméstico del producto importado, ambos por unidad de producto j como v_j , la ecuación anterior se puede reescribir así:

$$p_j^\varepsilon - (1 + \tau_j)(1 + \varepsilon_j) \sum_{i=1}^n p_i a_{ij} = v_j \quad (8)$$

La cual en forma matricial se puede escribir de la siguiente forma:

$$(I - A^*) \cdot p^\varepsilon = v \quad (9)$$

donde A^* es la nueva matriz de coeficientes técnicos que incorpora tanto los impuestos *ad-valorem* e impuestos ambientales, y v es el vector de valor agregado por unidad de producción que incluye las remuneraciones, pago al capital, y además incluye insumos importados. Así, los precios de producción quedarán determinados según la siguiente operación matricial:

$$p^\varepsilon = (I - A^*)^{-1} \cdot v \quad (10)$$

When defining the value added (wages, benefits) and the domestic value of the imported product, both per unit of product j as v_j , the above equation can be rewritten as:

$$p_j^\varepsilon - (1 + \tau_j)(1 + \varepsilon_j) \sum_{i=1}^n p_i a_{ij} = v_j \quad (8)$$

Which in matrix form can be written as follows:

$$(I - A^*) \cdot p^\varepsilon = v \quad (9)$$

where A^* is the new matrix of technical coefficients that incorporates both *ad valorem* taxes and environmental taxes, and v is the vector of value added per unit of production which includes wages, payment to capital, and includes imported inputs. Thus, producer prices shall be determined according to the following matrix operation:

$$p^\varepsilon = (I - A^*)^{-1} \cdot v \quad (10)$$

The environmental tax also affects the consumer price index (CPI) which increases from IPC to IPC^ε , where p_j and p_j^ε are consumer prices before and after the introduction of environmental tax, respectively. While α_j represents the proportion of goods and services of sector j consumed in the economy. Thus, variation in the CPI can be expressed as:

$$\Delta \% IPC = \frac{IPC^\varepsilon - IPC}{IPC} \cdot 100 = \frac{\sum_{j=1}^n p_j^\varepsilon \alpha_j - \sum_{j=1}^n p_j \alpha_j}{\sum_{j=1}^n p_j \alpha_j} \cdot 100 \quad (11)$$

The impact of the tax on private real income from the change in consumer spending goods of sector j (C_j), can be evaluated by the expression:

$$\Delta W = W - W^\varepsilon = \sum_{j=1}^n p_j C_j - \sum_{j=1}^n p_j^\varepsilon C_j \quad (12)$$

This indicator can be interpreted as the change in the economic welfare of consumers after tax; any negative value reflects a situation in which there is a loss of welfare, since it indicates an increase in spending.

El impuesto ambiental también afecta al índice de precios del consumidor (IPC) que se incrementa de IPC a IPC^e , donde p_j y p_j^e son los precios de consumo antes y después de la introducción del impuesto medioambiental, respectivamente. Mientras α_j representa la proporción de los bienes y servicios del sector j que se consumen en la economía. Así, la variación en el IPC se puede expresar como:

$$\Delta\%IPC = \frac{IPC^e - IPC}{IPC} \cdot 100 = \frac{\sum_{j=1}^n p_j^e \alpha_j - \sum_{j=1}^n p_j \alpha_j}{\sum_{j=1}^n p_j \alpha_j} \cdot 100 \quad (11)$$

El impacto del impuesto sobre el ingreso real privado a partir del cambio en el gasto del consumo de bienes de sector j en los hogares (C_j), se puede evaluar mediante la expresión:

$$\Delta W = W - W^e = \sum_{j=1}^n p_j C_j - \sum_{j=1}^n p_j^e C_j \quad (12)$$

Este indicador puede interpretarse como la variación en el bienestar económico de los consumidores luego del impuesto, cualquier valor negativo refleja una situación en la cual hay una pérdida de bienestar, puesto que indica un incremento en el gasto.

Los cambios en los precios sectoriales inducidos por el impuesto ambiental también podrían reflejarse en la producción total. Estos efectos pueden ser evaluados bajo el supuesto que los valores monetarios de la producción sectorial, antes y después de la introducción del impuesto se mantienen constantes en los niveles originales⁶. Por lo tanto, la nueva producción sectorial del sector j después de que el impuesto ambiental (X_j^e) ha sido introducido se puede calcular como:

$$X_j^e = \frac{p_j X_j}{p_j^e} \quad (13)$$

Al tomar en cuenta que los precios en el equilibrio de referencia son normalizados igual a 1 (es decir, $p_j=1$) y usar el supuesto de proporcionalidad del enfoque de insumo-producto, en el cual las emisiones totales de CO₂e de cada sector están directamente vinculadas a la producción total de ese sector, podemos aproximar

Changes in sectoral prices induced by the environmental tax could also be reflected in the total production. These effects can be evaluated under the assumption that the monetary values of sectoral output before and after the introduction of the tax will remain constant at the original levels⁶. Therefore, the new sectoral production of sector j after the environmental tax (X_j^e) has been introduced can be calculated as:

$$X_j^e = \frac{p_j X_j}{p_j^e} \quad (13)$$

By taking into account that prices on the benchmark equilibrium are normalized equal to 1 (that is, $p_j=1$) and using the proportionality assumption of the input-output model, in which the total emissions of CO₂e of each sector are directly linked to the total output of this sector, we can approximate the new sectoral emissions (E_j^e) as the multiplication of new production with direct emissions per unit of production (g_j)⁷:

$$E_j^e = g_j X_j^e \quad (14)$$

Finally, the tax collection (R) is evaluated as:

$$R = \sum_{j=1}^n \varepsilon_j p_j^e X_j^e \quad (15)$$

Economic data used

This research used data from the statistical yearbook “Cuentas Nacionales de Chile 2008-2012” (National Accounts of Chile 2008-2012), Central Bank of Chile, and specifically the Input-Output Table 2010 (IOT 2010) was used. To make information manageable 111 economic activities of the IOT 2010 in 34 sectors were added, resulting in a square matrix of a 34x34 dimension.

The sectors used are: Agriculture and Livestock, Forestry, Aquaculture, Fisheries, Coal, Oil and Gas, Copper, Rest of Mining, Food Industry, Textiles and Leather, Wood, Pulp, Fuel, Chemical Industry, Non-Metallic Mining, Basic Metals Industry, Metalworking Industry, Furniture, Other industries, Electricity, Water, Construction, Trade and Hotels, Passenger Transport, Transportation, Telecommunications, Financial Services, Services, Public Administration, Public Education,

⁶Este supuesto es restrictivo y asume una elasticidad unitaria; para otro tipo de supuestos menos restrictivos se requeriría utilizar un modelo CGE ♦ This assumption is restrictive and assumes a unitary elasticity; for other less restrictive assumptions the use of a CGE model would be required.

las nuevas emisiones sectoriales (E_j^e) como la multiplicación de la nueva producción con las emisiones directas por unidad de producción (g_j)⁷:

$$E_j^e = g_j X_j^e \quad (14)$$

Por último, la recaudación fiscal del impuesto (R), es evaluada como:

$$R = \sum_{j=1}^n \varepsilon_j p_j^e X_j^e \quad (15)$$

Datos económicos utilizados

Esta investigación utilizó datos del anuario estadístico “Cuentas Nacionales de Chile 2008-2012” del Banco Central de Chile y, de manera específica, se usó la Matriz de Insumo-Producto 2010 (MIP 2010). Para hacer manejable la información se agregaron las 111 actividades económicas de la MIP 2010 en 34 sectores, resultando una matriz cuadrada de dimensión 34x34.

Los sectores utilizados corresponden a: Agropecuario, Silvícola, Acuicultura, Pesca, Carbón, Petróleo y Gas, Cobre, Resto de la Minería, Industria Alimentaria, Textil y Cuero, Maderas, Celulosa, Combustible, Industria Química, Minería No Metálica, Industria de Metales Básicos, Industria Metalmeccánica, Muebles, Otras Industrias, Electricidad, Agua, Construcción, Comercio y Hoteles, Transporte de Pasajeros, Transporte, Telecomunicaciones, Servicios Financieros, Servicios, Administración Pública, Educación Pública, Educación Privada, Salud Pública, Salud privada, Otros Servicios (Anexo).

Datos ambientales para emisiones

El CO₂e es una medida utilizada para indicar la posibilidad de calentamiento global asociada a cada uno de los GEI, es decir, además del CO₂, también incluye los efectos del metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y de otros GEI de vida larga, en comparación con un gas de referencia, por lo general CO₂. El Potencial de Calentamiento Global GWP (del inglés Global Warming Potential) para estos gases se puede calcular para periodos de 20, 100 o 500 años, y 100 años es el valor más frecuente. Por ejemplo, el GWP para 100 años del CH₄ es 25 y para NOX es 298; esto es, la emisión de 1 millón de Mg de metano es equivalente a emitir 25 millones de Mg de CO₂e (World Bank, 2014).

Private Education, Public Health, Private Health and Other Services (Anex).

Environmental emission data

CO₂e is a measure used to indicate the possibility of global warming associated with each of GHGs, ie, in addition to CO₂, it also includes the effects of methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O) and other long life GHG compared to a reference gas, usually CO₂. The Global Warming Potential (GWP) of these gases can be calculated for periods of 20, 100 or 500 years and 100 years is the most frequent value. For example, the 100-year GWP of CH₄ is 25 and NO_x is 298; that is, the emission of 1 million Mg of methane is equivalent to emitting 25 million Mg CO₂e (World Bank, 2014).

Due to the variability and unreliability of official data reported by the Pollutant Release and Transfer Register (PRTR) in Chile, emissions were estimated using other sources of information. Thus, CO₂ and CO₂e emissions for the 34 sectors were obtained with data of fuels used and extracted from various sources such as industrial survey ENIA and National Energy Balance (BNE).

To transform fuel consumption data into CO₂ emissions we used emission factors (EPA, 2014). Then to calculate CO₂e emissions the procedure was similar, but also emissions multiplied by a conversion GWP factor for CO₂, CH₄ and N₂O using a horizon of 100 years (United Nations Convention Framework on Climate Change, 2014).

For the agriculture and livestock sector and forestry sector, data for CO₂ emissions were estimated from fuel use and emissions data of CO₂e were obtained from the report “Complementos y actualización del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para Chile en los sectores de Agropecuario, uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, y residuos antrópicos” (Accessories and updated inventory of Greenhouse Gases (GHG) for Chile in the sector of agriculture, land use, land use change and forestry, and anthropic waste) prepared by the Institute of Agricultural Research INIA (2010). Within CO₂e emission data we took into account the capture of emissions obtained from the source “Suelos forestales y plantaciones forestales” (Forest soils and forest plantations), presented in the report. The CO₂e emissions associated with livestock were estimated from the information extracted from the report “Producción Pecuaria, Periodo 2008-2013 y Primer Semestre 2014” (Livestock Production, 2008-2013 and First Half 2014) (Instituto Nacional de Estadística, 2014/National Institute of Statistics, 2014). To estimate

⁷La ecuación (4) permite obtener la tasa de impuesto ambiental de cada sector, la cual se usa para determinar el shock en los precios sectoriales, y finalmente sobre la producción. Así, la ecuación (14) solo estima las emisiones directas una vez que la producción sectorial ha cambiado

Debido a la variabilidad y falta de confiabilidad de los datos oficiales reportados por el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) en Chile, las emisiones se estimaron con otras fuentes de información. Así, las emisiones de CO₂ y CO₂e para los 34 sectores se obtuvieron con datos de uso de combustibles extraídos de diversas fuentes como la encuesta industrial ENIA, Balance Nacional Energético (BNE). Para transformar los datos de consumo de combustible a emisiones de CO₂ se usaron factores de emisión (EPA, 2014). Luego, para calcular las emisiones de CO₂e el procedimiento fue similar, pero además las emisiones se multiplicaron por un factor de conversión GWP para CO₂, CH₄ y N₂O usando un horizonte de 100 años (United Nations Convention Framework on Climate Change, 2014).

Para los sectores Agropecuario y Silvícola, los datos de emisión de CO₂ se estimaron a partir del uso de combustible y los datos de emisión de CO₂e se obtuvieron del informe “Complementos y actualización del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para Chile en los sectores de Agropecuario, uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, y residuos antrópicos” elaborado por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA (2010). Dentro de los datos de emisión de CO₂e se considera la captura de emisiones debido a la fuente “Suelos forestales y plantaciones forestales” detallada en el informe mencionado. Las emisiones de CO₂e del sector agropecuario asociado a la ganadería se estimaron de la información extraída del informe “Producción Pecuaria, Periodo 2008-2013 y Primer Semestre 2014” (Instituto Nacional de Estadística, 2014). Para estimar las emisiones de este sector se usaron intensidades de emisión promedio de GEI para la carne de vacuno, pequeños rumiantes, cerdo, pollo, leche y huevo extraídas del informe “Enfrentando el Cambio Climático a través de la Ganadería” elaborado por la FAO (2013).

Para la validación de las estimaciones de CO₂e no hay una cifra oficial con la cual hacer una comparación. Sin embargo, según las estadísticas del Banco Mundial las emisiones para el 2010 en Chile fueron 72.2 millones Mg de CO₂, un valor muy cercano al de las estimaciones de emisión en este estudio de 72.0 millones Mg de CO₂.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Emisiones directas e indirectas de CO₂e

En un escenario en el cual la demanda final de los sectores experimenta un aumento de un millón de dólares (Figura 1), por ejemplo, si el sector Agropecuario tiene un aumento en su demanda final de un millón de dólares (equivalente a 0.0126 % del PIB agropecuario), los efectos directos e indirectos en todos los sectores productivos se traducirían en un aumento de 3429 Mg de CO₂e (2872 Mg directas y

emissions from this sector average GHG emission intensities for beef, small ruminants, pig, chicken, milk and egg were used, obtained from the report “Enfrentando el Cambio Climático a través de la Ganadería” (Confronting Climate Change through Livestock) prepared by FAO (2013).

For the validation of estimates of CO₂e there is no official figure available for comparison. However, according to World Bank statistics emissions for 2010 in Chile were 72.2 million Mg of CO₂, very close to the value of the emission estimates made in this study of 72.0 million Mg of CO₂.

RESULTS AND DISCUSSION

Direct and indirect emissions of CO₂e

In a scenario in which the final demand of sectors experienced an increase of one million dollars, for example, if the agriculture and livestock sector has an increase in its final demand of one million dollars (equivalent to 0.0126 % of agriculture and livestock GDP), the direct and indirect effects on all productive sectors would result in an increase of 3429 t of CO₂e (2872 direct t and 557 indirect t).

Regarding CO₂e emissions, the sectors that produce a greater direct impact are: Agriculture and Livestock (2872 Mg), Electricity (1741 Mg), Oil and Natural Gas (1641 Mg), Passenger Transport and Transport (1620 Mg). Those who produce a greater indirect impact are: Forestry (2065 Mg), Electricity (1287 Mg), Water (1193 Mg), Food Industry (892 Mg) and Aquaculture (635 Mg). The sectors with the greatest overall impact of CO₂e emissions are: Agriculture and Livestock (3429 Mg), Electricity (3028 Mg), Passenger Transport (1773 Mg), Oil and Gas (1734 Mg) and Water (1200 Mg).

Direct emissions from the forestry sector have a negative value because the capture of GHG is greater than the direct emissions from fuel use and indirect emissions, creating a favorable balance capture. The wood sector has a negative value of indirect and total emissions, since this sector is an important consumer of the forestry sector inputs and emits directly only 23 t.

Simulation of tax rates on CO₂e

The environmental extension of the Leontief price model allows assessment of environmental taxes, as the total effect of emissions is reflected in the cost of production of all the sectors involved.

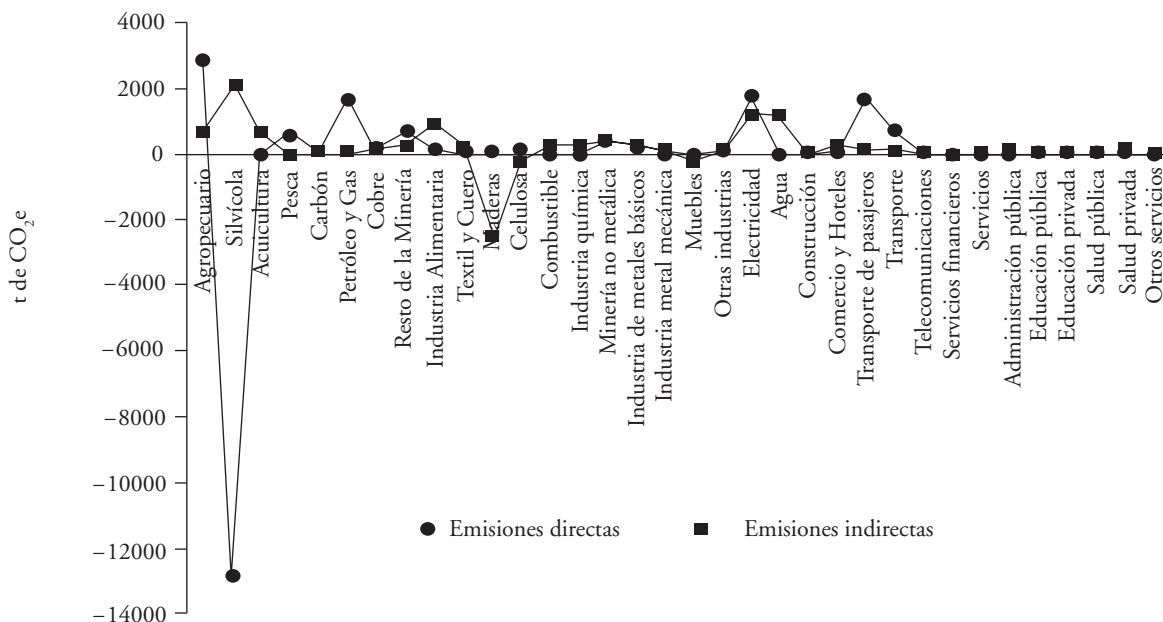


Figura 1. Indicadores ambientales de emisiones directas e indirectas de CO₂e ante un incremento en la demanda final de un millón de dólares. (Cuentas Nacionales de Chile 2008-2012 Banco Central de Chile, 2013).

Figure 1. Environmental indicators of direct and indirect emissions of CO₂e by the increase in the final demand of one million dollars. (Cuentas Nacionales de Chile 2008-2012 Banco Central de Chile, 2013).

557 Mg indirectas). Para las emisiones de CO₂e los sectores que producirían mayor impacto directo son Agropecuario (2872 Mg), Electricidad (1741 Mg), Petróleo y Gas natural (1641 Mg), Transporte de Pasajeros y Transporte (1620 Mg). Aquellos que producen mayor impacto indirecto son Silvícola (2065 Mg), Electricidad (1287 Mg), Agua (1193 Mg), Industria Alimentaria (892 Mg) y Acuicultura (635 Mg). Los sectores con mayor impacto total para las emisiones de CO₂e son Agropecuario (3429 Mg), Electricidad (3028 Mg), Transporte de Pasajeros (1773 Mg), Petróleo y Gas (1734 Mg) y Agua (1200 Mg).

Las emisiones directas del sector silvícola tienen un valor negativo debido a que la captura de GEI es mayor a la emisión directa por uso de combustible y a la emisión indirecta, generando un balance favorable a la captura. El sector maderas tiene un valor negativo de emisiones indirectas y totales, debido a que este sector es demandante importante de insumos del sector silvícola y emite directamente solo 23 Mg.

While the agriculture and livestock sector receives the tax burden directly, other sectors are also affected indirectly as a result of sectoral interactions due to input demand.

Five tax values were simulated on emissions of CO₂ and CO₂e, US\$1/Mg, US\$5/Mg, US\$10/Mg, US\$30/Mg (close to the world average value of CO₂ tax) [1] and US\$130/Mg (close to the world maximum values of the CO₂ tax). These values are used to estimate the rate of environmental tax associated with the intensity of CO₂e emissions in the agriculture and livestock sector which correspond respectively to 0.40 %, 1.99 %, 3.98 %, 11.94 % and 51.75 % of the products prices of this sector (Table 1).

The agriculture and livestock sector has the largest variation in prices because it is the sector where the tax is applied directly. For example, the price increases by 4.68 % for a tax of US\$10/Mg of CO₂e and 66.12 % for a tax of US\$130/t of CO₂e, ie approximately 0.48 % per dollar of tax.

Simulación de tasas de impuesto al CO₂e

La extensión ambiental del modelo de precios de Leontief permite evaluar de los impuestos ambientales, ya que el efecto total de las emisiones se refleja en el costo de producción de todos los sectores afectados. Si bien el sector Agropecuario recibe la carga del impuesto directamente, otros sectores también se ven afectados indirectamente, como resultado de las interacciones sectoriales por demanda de insumos.

Cinco valores de impuesto a las emisiones de CO₂ y CO₂e se simularon 1 US\$/Mg, 5 US\$/Mg, 10 US\$/Mg, 30 US\$/Mg (cercano al valor promedio mundial del impuesto al CO₂) y 130 US\$/Mg (cercano a los valores máximos mundiales del impuesto al CO₂). Estos valores son utilizados para estimar la tasa de impuesto ambiental asociada a la intensidad de emisiones de CO₂e del sector agropecuario los cuales, respectivamente, corresponden a 0.40 %, 1.99 %, 3.98 %, 11.94 % y 51.75 % del precio de los productos de este sector (Cuadro 1).

El sector Agropecuario presenta la mayor variación de sus precios de producción debido a que es el sector donde se aplica directamente el impuesto. Por ejemplo, el precio aumenta 4.68 % para un impuesto de 10 US\$/Mg de CO₂e y en 66.12 % para un impuesto de 130 US\$/Mg de CO₂e, es decir, aproximadamente 0.48 % por cada dólar de impuesto. Además, se genera una variación de los precios de los sectores silvícola, industria alimentaria, industria de la maderas y acuicultura debido a que un impuesto ambiental en el sector agropecuario afecta el costo de los insumos demandados por estos sectores (que no han sufrido la imposición directa del impuesto al CO₂e).

Otros indicadores económicos y ambientales que se pueden obtener con el modelo corresponden a la variación del IPC, el incremento en el gasto, la recaudación total y la variación en las emisiones de CO₂e asociadas a la variación en la producción.

Aplicar un impuesto al sector agropecuario en Chile parece razonable por ser el sector que emite más Mg de CO₂e. Sin embargo, los resultados mostraron que generaría efectos acotados en la reducción de emisiones para los diversos escenarios impositivos. Aunque la recaudación fiscal aumenta, se disminuiría el bienestar económico privado por el alza en el precio de los bienes consumidos (Cuadro 2). Además, se observó que los efectos sobre el IPC no son despreciables para impuestos altos, resultado que se explica

In addition, there is a change in the sectoral prices of forestry [1], food industry, wood and aquaculture because an environmental tax in the agricultural sector affects the cost of inputs demanded by these sectors (which have not undergone direct taxation from CO₂e).

Other economic and environmental indicators that can be obtained with the model correspond to the CPI variation, the increase in spending, total revenue and variation in CO₂e emissions associated with changes in production.

Taxing the agriculture and livestock sector in Chile seems reasonable as it is the sector that emits more CO₂e Mg. However, the results showed that it would generate small reductions of emissions in various tax scenarios. Although tax revenue increases, the private economic welfare would be diminished by the rise in the price of goods consumed (Table 2). In addition, we observed that the effects on the CPI are not negligible for higher taxes, a result explained by the share of agriculture and livestock products in the consumer basket (3.1 % fraction of expenditure according to the data of Final Consumption reported in National Accounts).

The results obtained showed that an environmental tax of US\$30 on CO₂e emissions in the agriculture and livestock sector (value close to the average in countries that have implemented a CO₂ tax) would lead to an increase in the consumer price index (CPI) of 1.01 %, an increase in spending of US\$1282.4 million, a total tax revenue of US\$1473.6 million and a reduction in CO₂e emissions associated with a variation in the production of only 4.04 %. In addition, production of the agriculture and livestock sector and the total output of the economy would be reduced by 0.61 % and 0.03 %, respectively.

CONCLUSIONS

The simulation implemented in this study uses the environmental extension of the Leontief price model to investigate the economic and environmental impact of a CO₂e tax on Chilean agriculture and livestock sector. The model showed that a restricted reduction of Chilean CO₂e emissions would be achieved if a tax is applied to the agriculture and livestock sector per t of CO₂e emitted, with an average decrease of 0.15% per dollar of tax.

But this economic policy would raise the prices of agriculture and livestock products, on average

Cuadro 1. Variación en los precios de producción debido al pago de impuesto a las emisiones de CO₂e del sector agropecuario.**Table 1. Changes in production prices due to tax payment on emissions of CO₂e in the agriculture and livestock sector.**

Sector / Impuesto	1 US\$	5 US\$	10 US\$	30 US\$	130 US\$
Agropecuario	0.46 %	2.33 %	4.68 %	14.22 %	66.12 %
Silvícola	0.16 %	0.82 %	1.66 %	5.03 %	23.40 %
Acuicultura	0.05 %	0.26 %	0.52 %	1.58 %	7.34 %
Pesca	0.00 %	0.01 %	0.03 %	0.09 %	0.40 %
Carbón	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.01 %
Petróleo y Gas	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %
Cobre	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.01 %	0.03 %
Resto de la minería	0.00 %	0.00 %	0.01 %	0.02 %	0.08 %
Industria alimentaria	0.10 %	0.48 %	0.97 %	2.96 %	13.74 %
Textil y cuero	0.01 %	0.03 %	0.05 %	0.16 %	0.76 %
Maderas	0.06 %	0.30 %	0.60 %	1.83 %	8.49 %
Celulosa	0.02 %	0.09 %	0.17 %	0.52 %	2.43 %
Combustible	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.01 %
Industria química	0.00 %	0.01 %	0.01 %	0.03 %	0.14 %
Minería no metálica	0.00 %	0.00 %	0.01 %	0.03 %	0.13 %
Industria de metales básicos	0.00 %	0.00 %	0.01 %	0.02 %	0.09 %
Industria metal mecánica	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.01 %	0.06 %
Muebles	0.01 %	0.05 %	0.10 %	0.32 %	1.46 %
Otras industrias	0.00 %	0.02 %	0.03 %	0.09 %	0.44 %
Electricidad	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.01 %	0.04 %
Agua	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.01 %	0.03 %
Construcción	0.00 %	0.01 %	0.02 %	0.07 %	0.34 %
Comercio y hoteles	0.01 %	0.04 %	0.08 %	0.23 %	1.07 %
Transporte de pasajeros	0.00 %	0.00 %	0.01 %	0.02 %	0.09 %
Transporte	0.00 %	0.00 %	0.01 %	0.02 %	0.09 %
Telecomunicaciones	0.00 %	0.00 %	0.01 %	0.02 %	0.10 %
Servicios financieros	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.01 %	0.04 %
Servicios	0.00 %	0.00 %	0.01 %	0.02 %	0.11 %
Administración pública	0.00 %	0.01 %	0.02 %	0.06 %	0.28 %
Educación pública	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.01 %	0.06 %
Educación privada	0.00 %	0.00 %	0.01 %	0.03 %	0.13 %
Salud pública	0.00 %	0.01 %	0.02 %	0.05 %	0.25 %
Salud privada	0.00 %	0.01 %	0.01 %	0.04 %	0.19 %
Otros servicios	0.00 %	0.01 %	0.02 %	0.08 %	0.35 %

Datos de Cuentas Nacionales de Chile 2008-2012 (Banco Central de Chile, 2013) ♦ Data obtained from Cuentas Nacionales de Chile 2008-2012 (Banco Central de Chile, 2013).

por la proporción de los productos agropecuarios en la canasta de consumo (3.1 % de la fracción del gasto de acuerdo a los datos de Consumo Final reportado en Cuentas Nacionales).

El análisis de los resultados mostró que un impuesto ambiental de 30 US\$ a las emisiones de CO₂e en el sector agropecuario (valor cercano al promedio en los países en que se ha aplicado un impuesto al CO₂) provocaría un aumento en el índice de precios al consumidor (IPC) de 1.01 %, un incremento en

0.48% per dollar of tax. As a result of the production chain, sectoral prices of forestry, food processing, aquaculture, wood industry would also raise, among others. Thus, the level of prices measured by the CPI would rise on average 0.03% per dollar of tax, reflecting the inevitable increase in spending for consumers, and consequently the loss of economic welfare.

Therefore, we concluded that the application of environmental taxes in the Chilean agriculture and

Cuadro 2. Variables económicas y ambientales del nuevo impuesto a emisiones de CO₂e.**Table 2. Economic and environmental variables under the new tax on CO₂e emissions.**

Indicador / Impuesto	1 US\$	5 US\$	10 US\$	30 US\$	130 US\$
Variación IPC	0.03 %	0.17 %	0.33 %	1.01 %	4.70 %
Incremento en el gasto (W), millones de US\$	41.92	210.17	421.75	1282.44	5962.16
Recaudación total (R), millones de US\$	49.12	245.60	491.19	1473.58	6385.52
Variación emisiones de CO ₂ e	-0.15 %	-0.75 %	-1.47 %	-4.04 %	-12.16 %

Datos de Cuentas Nacionales de Chile 2008-2012 (Banco Central de Chile, 2013) ♦ Data from Cuentas Nacionales de Chile 2008-2012 (Banco Central de Chile, 2013).

el gasto de US\$1282.4 millones, una recaudación total de US\$1473.6 millones y una disminución en las emisiones de CO₂e asociadas a la variación en la producción de solo 4.04 %. Además, la producción del sector agropecuario y la producción total de la economía se vería reducida en 0.61 % y 0.03 %, respectivamente.

CONCLUSIONES

La simulación implementada en este estudio utiliza la extensión ambiental del modelo de precios de Leontief para investigar el impacto económico y ambiental de un impuesto sobre el CO₂e al sector agropecuario chileno. El modelo mostró que se lograría una reducción acotada de las emisiones chilenas de CO₂e si se implementa un impuesto al sector agropecuario por Mg de CO₂e emitida, con una disminución promedio de 0.15 % por cada dólar de impuesto. Pero esta política económica elevaría los precios de los productos agropecuarios, en promedio, 0.48 % por cada dólar de impuesto. Inducido por el encadenamiento productivo, también se elevarían los precios del sector silvícola, industria de alimentos, acuícola, industria de la madera, entre otros. Así, el nivel de precios medidos por el IPC se elevaría en promedio 0.03 % por cada dólar de impuesto, reflejando el incremento en el gasto en el cual deberían incurrir los consumidores, y en consecuencia, la pérdida en su bienestar económico.

Por lo tanto, se concluye que la aplicación de impuestos ambientales en el sector agropecuario chileno no garantiza una reducción significativa de las emisiones. Como ejemplo, un impuesto de 130 US\$ por Mg emitida (alto a nivel mundial) reduciría en solo 12.2 % las emisiones de CO₂e en Chile, considerando

livestock sector does not guarantee a significant reduction in emissions. As an example, a tax of US\$130 per Mg emitted (high globally) would only reduce emissions of CO₂e by 12.2% in Chile, whereas the agricultural sector emits 40.6% of the country's total emissions.

—End of the English version—

-----*

que el sector agropecuario emite 40.6 % de las emisiones totales del país.

LITERATURA CITADA

- Alcántara, V., and E. Padilla. 2006. An input-output analysis of the key sectors in CO₂ emissions from a production perspective: an application to the Spanish economy. Working Papers wpdea0601, Department of Applied Economics at Universitat Autònoma de Barcelona.
- Alcántara, V., and E. Padilla. 2008. Input-output subsystems and pollution: An application to the service sector and CO₂ emissions in Spain. *Ecol. Econ.* 68: 905-914.
- Banco Central de Chile. 2013. Cuentas Nacionales de Chile 2008-2012.
- EPA. 2014. Emission Factors for Greenhouse Gas Inventories. <http://www.epa.gov/climateleadership/documents/emission-factors.pdf>. (Consulta: Noviembre 2014).
- FAO. 2014. Agriculture, Forestry and Other Land Use Emissions by Sources and Removals by Sinks. FAO Statistics Division. Working Paper Series ESS/14-02. 75 p.
- Gallardo, A., and C. Mardones. 2013. Environmentally Extended Social Accounting Matrix for Chile. *Environ. Dev. Sustain.* 15: 1099-1127.
- Gemechu, E., I. Butnar, M. Llop, and F. Castells. 2014. Economic and environmental effects of the CO₂ taxation: an input-output analysis for Spain. *J. Environ. Plan. Manage.* 57: 751-768.

- Guo, Z, X. Zhang, Y. Zheng, and R. Rao. 2014. Exploring the impacts of a carbon tax on the Chinese economy using a CGE model with a detailed disaggregation of energy sectors. *Energy Econ.* 45: 455–462.
- Instituto Nacional de Estadísticas. 2014. Producción Pecuaria. Período 2008-2013 y primer semestre 2014. http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_agropecuarias/estadisticas_pecuarias/pdf/pecuaria_2008_2013_1s_2014.pdf. (Consulta: Diciembre 2014).
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA. 2010. Complementos y actualización del inventario de gases de efecto invernadero (GEI) para Chile en los sectores de agricultura, uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, y residuos antrópicos. Estudio encargado por CONAMA, Santiago de Chile. 192 p.
- Limmechokchai, B., and P. Suksuntornsiri. 2007. Embedded energy and total greenhouse gas emissions in final consumptions within Thailand. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 11: 259–281.
- Linping, J. and C. Bin. 2010. An input-output model to analyze sector linkages and CO₂ emissions. *Procedia Environ. Sci.* 2: 1841–1845.
- Llop, M. 2008. Economic impact of alternative water policy scenarios in the Spanish production system: An input-output analysis. *Ecol. Econ.* 68: 288–294.,
- Liu, Y. and Y. Lu. 2015. The economic impact of different carbon tax revenue recycling schemes in China: A model-based scenario analysis. *Appl. Energy* 141: 96–105.
- Mahmood, A., and C. Marpaung. 2014. Carbon pricing and energy efficiency improvement – why to miss the interaction for developing economies? An illustrative CGE based application to the Pakistan case. *Energy Policy* 67: 87–103.
- Schuschny, A. 2005. Tópicos sobre el Modelo de Insumo-Producto: teoría y aplicaciones. CEPAL, serie estudios estadísticos y prospectivos N° 37. pp: 10–18.
- Su, B., B., Ang, and M. Low. 2013. Input–output analysis of CO₂ emissions embodied in trade and the driving forces: Processing and normal exports. *Ecol. Econ.* 88: 119–125.
- United Nations Convention Framework on Climate Change. 2014. http://unfccc.int/ghg_data/items/3825.php. (Consulta: Noviembre 2014).
- Wachsmann, U., R. Wood, M. Lenzen, and R. Schaeffer. 2009. Structural decomposition of energy use in Brazil from 1970 to 1996. *Appl. Energy* 86: 578–587.
- World Bank. 2014. Agriculture sector investment projects. World Bank GHG accounting guidance note; no. 3. Washington, DC : World Bank Group. pp: 10.
- Xie, J. 2000. An Environmentally Extended Social Accounting Matrix. *Environ. Resour. Econ.* 16:391–406.

ANEXO

Cuadro A-1. Caracterización de sectores económicos en Chile.
Table A-1. x

Sector	Consumo Intermedio (millones de dólares)	Consumo (millones de dólares)	Consumo Gobierno (millones de dólares)	Inversión (millones de dólares)	Var. de Existencias (millones de dólares)	Exportaciones (millones de dólares)	Importaciones (millones de dólares)	Participación en el PIB (porcentaje)
Agropecuario	8610	3869	0	366	117	4316	754	2.54 %
Silvícola	1176	139	0	160	205	22	40	0.62 %
Acuicultura	2233	0	0	0	-20	0	8	0.18 %
Pesca	1292	175	0	0	0	81	12	0.31 %
Carbón	754	0	0	0	-14	0	709	0.01 %
Petróleo y gas	5806	0	0	0	282	0	5802	0.12 %
Cobre	5404	0	0	0	536	41112	395	16.01 %
Resto de la minería	1862	0	0	0	10	3176	493	1.22 %
Industria alimentaria	8529	22452	125	0	26	7780	3641	4.38 %
Textil y cuero	1510	8130	0	58	202	660	3827	0.34 %
Maderas	1927	96	0	34	15	1839	279	0.34 %
Celulosa	2830	1042	0	0	69	3008	881	1.15 %
Combustible	11393	4715	0	0	148	810	7285	0.73 %
Industria química	12965	5674	0	656	72	4013	7515	1.59 %
Minería no metálica	3808	288	0	0	76	79	834	0.38 %
Industria de metales básicos	4071	0	0	0	313	1156	2088	0.38 %
Industria metal mecánica	15735	10451	0	16221	760	2611	24152	1.87 %
Muebles	138	1399	0	200	17	36	285	0.17 %
Otras industrias	2612	2560	11	-82	10	300	1144	0.43 %
Electricidad	15238	2888	0	0	0	0	33	2.28 %
Agua	525	1089	99	0	0	0	0	0.76 %
Construcción	4783	0	0	25248	0	0	0	7.40 %
Comercio y hoteles	5185	6765	617	0	0	846	519	10.18 %
Transporte de pasajeros	534	5077	0	0	0	24	53	1.27 %
Transporte	14948	3234	0	0	0	7195	3664	3.57 %
Telecomunicaciones	4347	4906	0	0	0	123	138	2.05 %
Servicios financieros	10262	8165	165	0	0	359	1946	5.26 %
Servicios	39446	16778	106	2994	0	1369	2144	18.08 %
Administración pública	65	169	13316	0	0	0	0	4.76 %
Educación pública	0	1193	6249	0	0	0	0	3.25 %
Educación privada	2	4574	212	0	0	0	2	1.77 %
Salud pública	0	230	5342	0	0	0	0	1.96 %
Salud privada	915	5719	246	0	0	0	0	1.70 %
Otros servicios	1488	6606	250	8	0	1858	1694	2.94 %

Datos de Cuentas Nacionales de Chile 2008-2012 (Banco Central de Chile, 2013) ♦ Data from Cuentas Nacionales de Chile 2008-2012 (Banco Central de Chile, 2013).