

# MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO ADOPTADAS EN EL SECTOR AGROPECUARIO: EVALUACIÓN E IMPACTO ECONÓMICO EN MÉXICO

## MITIGATION MEASURES OF GREENHOUSE GASES ADOPTED IN THE FARMING SECTOR: ECONOMIC ASSESSMENT AND IMPACT IN MEXICO

Alejandra Elizondo<sup>1\*</sup>, M. Eugenia Ibararán<sup>2</sup>, Roy Boyd<sup>3</sup>

<sup>1</sup>CONACYT-CIDE, Centro de Investigación y Docencia Económicas, Carretera México Toluca 3655, Ciudad de México, México (alejandra.elizondo@cide.edu). <sup>2</sup>Departamento de Economía, Universidad IBERO Puebla, Blvd. del Niño Poblano 2901, San Andrés Cholula, Puebla, México (mariaeugenia.ibarraran@iberopuebla.mx). <sup>3</sup>Economics Department, Ohio University, Room 211, Haning Hall, Athens, OH, 45701, USA (boydr1@ohio.edu)

### RESUMEN

El objetivo de esta investigación es analizar el impacto económico de acciones en el sector agropecuario para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y, por tanto, contribuir a la política climática del país. Para ello, se hacen una serie de simulaciones de estas políticas con un modelo estático de equilibrio general computable para determinar el efecto en producción, consumo, y bienestar de distintos grupos poblacionales de acuerdo a su ingreso. La hipótesis de investigación es que las políticas agropecuarias elegidas que están siendo instrumentadas actualmente pueden a la vez impulsar el crecimiento económico y apoyar la política climática del país. Los resultados muestran que hay una alineación de objetivos entre las distintas Secretarías y programas, y que las acciones de política planteadas contribuyen al crecimiento económico, aunque de manera limitada. Existe un incremento potencial en el valor de la producción agropecuaria de 6.8%, con un aumento en el consumo de alimentos de casi 1%. Además, la renta de la tierra y los salarios incrementan su valor a partir de las políticas en el sector primario. Los resultados obtenidos están en línea con los de otros estudios citados a lo largo del trabajo.

**Palabras clave:** cambio climático, desarrollo económico, equilibrio general, evaluación económica, política sectorial.

### INTRODUCCIÓN

México es un actor importante en el entramado de los acuerdos ambientales a nivel global. Muestra de ello es su constante participación en los foros de cambio climático, bio-

\* Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: febrero, 2017. Aprobado: febrero, 2018.

Publicado como ARTÍCULO en ASyD 17: 513-532. 2020.

### ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the economic impact of actions in the farming sector to mitigate emissions of greenhouse gases and, therefore, to contribute to the climate policy in the country. For this purpose, a series of simulations of these policies are made with a computable general static equilibrium model to determine their effect in production, consumption and welfare of different population groups according to their income. The research hypothesis is that the agricultural policies chosen, which are being implemented today, can simultaneously drive economic growth and contribute to the country's climate policy. The results show that there is an alignment of objectives between the different ministries and programs, and that the policy actions suggested contribute to economic growth, although in a limited way. There is a potential increase in the value of agricultural production of 6.8%, with an increase in the consumption of foods of almost 1%. In addition, land rental and salaries increase their value as a result of primary sector policies. The results obtained are in line with those from other studies cited in the manuscript.

**Key words:** climate change, economic development, general equilibrium, economic evaluation, sectorial policy.

### INTRODUCTION

Mexico is an important player when it comes to environmental agreements at the global level. An example of this is the high profile role that it has consistently taken in treaties on climate change, biodiversity, water management and desertification, among others. With respect to the issue of climate change, it has

diversidad, manejo de agua y desertificación, entre otros. En el tema de cambio climático, ha participado en distintas reuniones multilaterales y organizado otras como la Conferencia de las Partes (COP) de Cancún en 2011. Por otro lado, fue de los primeros países en enviar su intención de reducción de emisiones para la COP de París de 2015.

Las emisiones totales de gases efecto invernadero (GEI) en México en 2010 alcanzaron, 728 MtCO<sub>2</sub>e de acuerdo al Inventario de Emisiones de la Quinta Comunicación de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). De estas, las emisiones directas del sector agropecuario constituyen 12% de las emisiones respecto al total nacional. Las principales fuentes son aplicación de fertilizantes nitrogenados, los cultivos que generan altas emisiones de metano y la quema de residuos. En la parte pecuaria, las emisiones provienen principalmente de la fermentación entérica y el manejo de excretas, del manejo de suelos para pastoreo y del uso de la energía en el sector (SEMARNAT INECC, 2012). Asimismo, el sector agropecuario contribuye con emisiones a partir del cambio de uso de suelo entre las subcategorías forestales, agrícolas y urbanas, entre otras.

Por otra parte, el sector agropecuario en conjunto es importante para la economía mexicana, no necesariamente por su aportación en términos del valor de la producción total, sino por los efectos sociales de sus políticas. Aunque contribuye con menos del 3% al PIB nacional, es central para la producción de alimentos (Sánchez Cano, 2014). Su relevancia también se observa en la participación de la población con casi 15% del empleo y gran parte de la población dedicada a actividades agropecuarias vive del autoconsumo. Las políticas económicas aplicadas al sector tienen efectos en el bienestar de la población de menores recursos, en los sectores que usan la producción agropecuaria como insumos y en el resto de la economía que finalmente es consumidora de sus productos mediante alimentos principalmente. Actualmente, México es importador neto de alimentos (Basurto y Escalante, 2012).

Nuestro interés radica en el análisis de los efectos que algunas políticas agropecuarias relacionadas con la mitigación al cambio climático generan en la economía, el bienestar de distintos grupos de ingreso y sobre la producción agregada y sectorial. Las políticas públicas en torno a este sector han llevado a

participado en varias reuniones multilaterales mientras que realmente organizó a otros como la 2011 Conferencia de las Partes (COP). De hecho fue uno de los primeros países en enviar su intención de reducir las emisiones para la COP de París de 2015.

Las emisiones totales de gases efecto invernadero (GEI) en México alcanzaron 728 MtCO<sub>2</sub>e en 2010, de acuerdo al Inventario de Emisiones de la Quinta Comunicación de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC). Las emisiones directas del sector agropecuario constituyen 12% de las emisiones con respecto al total nacional. Las principales fuentes de estas emisiones provienen de la aplicación de fertilizantes nitrogenados, los cultivos que generan altas emisiones de metano y la quema de residuos. En la producción de ganado, las emisiones provienen principalmente de la fermentación entérica y el manejo de excretas, del manejo de suelos para pastoreo y del uso de la energía en el sector (SEMARNAT INECC, 2012). Asimismo, el sector agropecuario contribuye con emisiones a partir del cambio de uso de suelo entre las subcategorías forestales, agrícolas y urbanas, entre otras.

Por otra parte, el sector agropecuario en conjunto es importante para la economía mexicana, no necesariamente porque de su contribución en términos de valor de la producción total, sino por los efectos sociales de sus políticas. Aunque contribuye con menos del 3% al PIB nacional, es central para la producción de alimentos (Sánchez Cano, 2014). Su relevancia también se observa en la participación de la población con casi 15% del empleo y gran parte de la población dedicada a actividades agropecuarias vive del autoconsumo. Las políticas económicas aplicadas al sector tienen efectos en el bienestar de la población de menores recursos, en los sectores que usan la producción agropecuaria como insumos y en el resto de la economía que finalmente es consumidora de sus productos mediante alimentos principalmente. Actualmente, México es importador neto de alimentos (Basurto y Escalante, 2012).

Nuestro interés radica en el análisis de los efectos que algunas políticas agropecuarias relacionadas con la mitigación al cambio climático generan en la economía, el bienestar de distintos grupos de ingreso y sobre la producción agregada y sectorial. Las políticas públicas en torno a este sector han llevado a

la pérdida de suelos (López y Martínez, 2011), una reducción en la cobertura forestal (Merino y Segura, 2007) y a una crisis propia ocasionada por su falta de competitividad (Basurto y Escalante, 2012). Además, el apoyo a ciertas actividades ganaderas o agrícolas puede provocar el cambio de uso de suelo hacia la actividad promovida, cuando se espera un incremento en producción. Sin embargo, esto puede generar efectos colaterales en otros sectores, por lo que es necesario analizar las consecuencias potenciales en el (los) sector(es) afectado(s) a raíz de este cambio (Bravo *et al.*, 2010).

Han sido muchas las políticas aplicadas a este sector (González y Macías, 2007; Naude, 2006, entre otros). Para este análisis, se han elegido cuatro políticas: en el sector agrícola, la sustitución de fertilizantes químicos por biofertilizantes, así como el fomento a tecnologías de irrigación y de bombeo eficientes (Ávila *et al.*, 2008), y en el sector ganadero, cambios en la planeación y prácticas de pastoreo (Bravo *et al.*, 2010), así como la generación de electricidad a partir de excretas.

Este trabajo está estructurado en cuatro apartados. La primera parte describe muy brevemente algunos indicadores del sector agropecuario en México y se plantean las principales fuentes de emisión. A partir de esto, se proponen medidas para impulsar el incremento en eficiencia del sector, y al mismo tiempo reducir su contribución de gases de efecto invernadero. La segunda sección describe brevemente el modelo a utilizar. La tercera parte plantea las simulaciones y discute los resultados y la sección final hace algunas recomendaciones de política pública.

## CONTEXTO Y POLÍTICAS DE MITIGACIÓN

El sector agropecuario presenta características socioeconómicas particulares. Su aportación a la producción nacional es limitada y en 2012, todo el sector primario (agricultura, ganadería, forestal, caza y pesca) generó 3% del PIB (INEGI, 2016). Sin embargo, contribuye al objetivo nacional de seguridad alimentaria a partir de los alimentos producidos en el país, aunque México está lejos de cumplirla (Naude, 2006). A pesar de su baja aportación al PIB, genera fuentes de empleo para una parte importante de la población de bajos recursos. En 2012 el sector dio empleo a 14% de la población ocupada (INEGI,

its competitiveness (Basurto and Escalante, 2012). In addition, the support to certain livestock or agricultural activities can cause the change in land use toward the activity promoted, when an increase in production is expected. However, this can generate collateral effects in other sectors, which is why it is necessary to analyze the potential consequences in the sector(s) affected as a result of this change (Bravo *et al.*, 2010).

There have been a number of policies directed toward this sector (González and Macías, 2007; Naude, 2006, among others). For this analysis, four policies have been chosen: in the agricultural sector, the substitution of chemical fertilizers with biofertilizers, as well as the promotion of efficient irrigation and pumping technologies (Ávila, Muñoz and Guevara, 2008), and in the livestock sector, changes in grazing planning and practices (Bravo *et al.*, 2010), as well as the generation of electricity from excretas.

This study is organized in four sections. The first part briefly describes some indicators of the farming sector in Mexico and suggests the main sources of emissions. Based on this, measures are suggested to both increase the sector's efficiency, and at the same time reduce its contribution of greenhouse gases. The second section describes the model to be used. The third part suggests the simulations and discusses the results; and the final section makes some public policy recommendations.

## CONTEXT AND MITIGATION POLICIES

While the farming sector is important in terms of its socioeconomic role in Mexico, its contribution to the national production is limited and in 2012, the entire primary sector (agriculture, livestock production, forestry, hunting and fishing) generated only 3% of total GDP (INEGI, 2016). It plays an essential role in meeting the national objective of food security, although Mexico is far from fulfilling it at the present time (Naude, 2006). Despite its low small share of total GDP, it provides a source of employment for a significant portion of the population which have few other alternatives. In 2012, the sector provided jobs to 14% of the nation's population (INEGI, 2014). These jobs are generally low pay, and many of the households are in the first two deciles of income. Consequently,

2014). Estos empleos son de baja remuneración en general, y muchos de los hogares se encuentran entre los dos primeros deciles de ingreso. Esto contribuye a que más de 70% de los trabajadores del sector agropecuario presenten condiciones de pobreza de acuerdo al Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). Para hacer frente a la falta de recursos, muchos de los productores practican el autoconsumo. Otro problema del sector agropecuario está ligado a que la parcela promedio en México es de dos hectáreas, y muchas veces estas no son contiguas, y presentan bajos niveles de productividad. Por otra parte, a pesar de la baja participación del sector agropecuario en el PIB, las tierras que se dedican al cultivo y de pastoreo cubren la mayor parte del territorio junto con bosques y zonas de vegetación. Además, la evolución del sector y las políticas que en él se instrumentan han llevado a un continuo cambio en el uso del suelo (López y Martínez 2011; Bravo *et al.*, 2010; Merino y Segura 2007; Naude, 2006).

Las prácticas de cultivo, los esquemas de pastoreo y el manejo de los residuos tanto de biomasa como de excretas tienen un impacto relevante en la contribución del sector a las emisiones de gases efecto invernadero (GEI). Las políticas de mitigación de GEI se diseñan principalmente desde la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Sin embargo, otras secretarías como la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) también elaboran políticas con impacto sobre cambio climático como parte de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático.

Por su parte, el Plan Nacional de Desarrollo 2012-2018 (PND) establece que la SAGARPA deberá impulsar la productividad del sector, con modelos de asociación que generen mayor valor agregado y que contribuyan a erradicar la carencia alimentaria del medio rural, pero también deberá fomentar el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. La SEMARNAT, por su parte y de acuerdo al PND, deberá facilitar el crecimiento sostenido y sustentable, disminuir las emisiones de GEI, así como detener y revertir la pérdida de capital natural y la contaminación del agua, aire y suelo. El mandato de aprovechamiento sustentable de SAGARPA se encuentra fuertemente ligado a los objetivos mencionados de SEMARNAT, incluyendo el cumplimiento de las metas de mitigación.

more than 70% of workers in the farming sector live in conditions of poverty according to the National Evaluation Council of the Social Development Policy (*Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social*, CONEVAL). To cope with this lack of resources, many of these producers practice auto-consumption. Another problem of the farming sector is linked to the fact that the average farm plot in Mexico is 2 hectares. Often farms consist of non-adjointing plots of land, and frequently they have low levels of productivity. On the other hand, despite the low share of the farming sector in the GDP, the lands devoted to cultivation and grazing cover most of the nation's territory (together with forests and vegetation zones). In addition, the evolution of the sector and the policies implemented within it have led to a continuous change in land use (López and Martínez 2011; Bravo *et al.*, 2010; Merino and Segura 2007; Naude, 2006).

Cultivation practices, grazing schemes, and the management of residues both of biomass and excretas have a relevant impact on the sector's contribution to emissions of greenhouse gases (GHG). GHG mitigation policies are designed primarily by the Ministry of the Environment and Natural Resources (*Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*, SEMARNAT). However, other ministries such as the Ministry of Agriculture, Livestock Production, Rural Development, Fishing and Food (*Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*, SAGARPA), also enact policies which impact climate change as part of the Inter-Ministerial Commission on Climate Change.

The 2012-2018 National Development Plan (NDP) states that SAGARPA is charged with promoting the farm sector's productivity. Furthermore, it should rely in scientific models that generate higher added value, which contribute to eradicating the food shortage in the rural environment, and which should foster the sustainable exploitation of natural resources. SEMARNAT, on the other hand and according to the NDP, should facilitate sustained and sustainable growth, decrease GHG emissions, as well as stop and reverse the loss of natural capital and pollution of water, air and soil. The sustainable exploitation mandate of SAGARPA is strongly linked to the objectives mentioned by SEMARNAT, including the fulfillment of mitigation goals.

Por otra parte, la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) es el instrumento que dirige la política pública de cambio climático de mediano y largo plazos. El segundo pilar de la ENCC plantea el desarrollo de políticas fiscales e instrumentos económicos y financieros. Entre sus líneas de acción, establece el replanteamiento de los subsidios al agua y a la electricidad en todos los sectores para incentivar el aumento en eficiencia energética y del consumo de agua (línea de acción 11). Además, en el cuarto eje estratégico de mitigación de la ENCC, dirigido específicamente a trabajar hacia mejores prácticas en los sectores agropecuario y forestal, se establece la necesidad de “realizar un mejor uso de fertilizantes, racionalizar su uso, producir y aplicar biofertilizantes, así como el uso eficiente de nitrogenados” (línea de acción 11), llevar a cabo acciones para incrementar la eficiencia energética y el impulso a biodigestores como energía renovable (línea de acción 13), así como establecer esquemas “que reduzcan emisiones y capturen carbono en tierras de pastoreo mediante el manejo adecuado del ganado, ajustes de carga animal y pastoreo planificado” (línea de acción 14).

Con base en estos planteamientos, esta investigación analiza cuatro políticas que contribuyen a alcanzar los objetivos de la ENCC, y que conducirán a la mitigación de gases de efecto invernadero, así como contribuir al desarrollo sectorial. Dos de estas políticas son para el sector agrícola y dos para el ganadero, aunque de alguna manera hay sinergias entre ellas y entre los sectores afectados.

La hipótesis de este trabajo es que el conjunto de medidas que a continuación se definen y se simulan, cumplen un doble propósito. Son medidas que han sido mencionadas para contribuir a la estrategia de mitigación nacional de cambio climático, y además contribuyen al avance de la economía sectorial y nacional. De ser así, este tipo de medidas deberían incorporarse a la estrategia climática nacional, independientemente del avance en los compromisos y acuerdos internacionales.

### Medidas en el sector agrícola

Las emisiones del sector agrícola provienen principalmente del uso excesivo de electricidad para el bombeo de agua para riego, las prácticas de siembra y de uso de fertilizantes, y prácticas de cosecha que incluyen la quema de las plantaciones (e.g. la caña de

The National Strategy on Climate Change (*Estrategia Nacional de Cambio Climático*, ENCC) is the planning document which directs long term public policy on climate change. A significant portion of the ENCC concerns the development of fiscal policies and economic and financial instruments. One of the actions that it suggests is the reconsideration of subsidies to water and electricity in all sectors in order to incentivize more efficient energy and water consumption (action line 11). In addition, in one portion of the ENCC directed specifically at working towards better practices in the farming and forestry sectors, emphasizes the need to “make a better use of fertilizers, rationalize their use, produce and apply biofertilizers, as well as an efficient use of nitrogenous” (action line 11); to carry out actions to increase energy efficiency and to promote biodigestors such as renewable energy (action line 13). It also calls for the establishment of plans “that reduce emissions and capture carbon in grazing lands through adequate management of the livestock, adjustments of animal load, and planned grazing” (action line 14).

With all of this in mind, our research here analyzes four policies that contribute to reaching the objectives of the ENCC, which will lead to the mitigation of greenhouse gases, and will contribute to sectorial development. Two of these policies are for the agricultural sector and two of these are for the livestock sector, although, of course, there are synergies between them and between the sectors affected.

The hypothesis of this study is that the set of measures that are defined and simulated fulfill a double purpose. They are measures that have been mentioned to contribute to the national strategy of climate change mitigation, and in addition they contribute to the advancement of the sectorial and national economy. That being the case, these types of measures should be incorporated to the national climate strategy, regardless of the advancement in the international commitments and agreements.

### Measures in the agricultural sector

Emissions from the agricultural sector come mainly from the excessive use of electricity to pump irrigation water, the practices of sowing and using fertilizers, and harvesting practices that include

azúcar). Aquí se analizan dos medidas que atienden algunos de estos aspectos y que se encuentran planteadas en el Programa de Fomento a la Agricultura de la SAGARPA:

- a) Uso de biofertilizantes, con base en bacterias y hongos, que viven en asociación simbiótica con plantas y ayudan a su proceso natural de nutrición fijando el nitrógeno de la atmósfera. Esta política está justificada en el Programa de Fomento a la Agricultura bajo el Componente Agro-producción, que considera el uso de biofertilizantes como un elemento de recuperación de suelos a partir de la aplicación de fertilizantes orgánicos (Barragán y del Valle, 2016). El programa otorga incentivos para incrementar la productividad a partir de la adquisición de paquetes tecnológicos que incluyen fertilizantes orgánicos para la mejora de suelos (SAGARPA, 2016a).
- b) Promoción de tecnologías de riego y bombeo eficientes para un mejor uso del agua (Ávila, Muñoz y Guevara, 2008). Esta política de tecnologías de riego corresponde a la listada en el Programa de Fomento a la Agricultura bajo el Componente de Tecnificación de Riego, específicamente bajo Sistemas de Riego (SAGARPA, 2016b). Para financiar estas acciones, se pueden redirigir los recursos hoy destinados a subsidiar el uso de electricidad para el bombeo de agua en la agricultura hacia subsidios para modernizar las técnicas de riego. Además de tener un impacto en emisiones, esta política permitiría también proteger los mantos freáticos, un objetivo ambiental adicional al de mitigación de cambio climático (Muñoz-Piña *et al.*, 2008).

### Medidas en el sector ganadero

La ganadería genera emisiones a partir la necesidad de ampliar las zonas de pastoreo debido a su degradación y al tratamiento de las excretas del ganado, entre otros factores (Ibarra-Flores *et al.*, 2006). En este trabajo analizamos dos cambios al sector ganadero, planteados en el Programa de Producción Pecuaria Sustentable y Ordenamiento Ganadero y Apícola (PROGAN) de la SAGARPA. El objetivo de este programa es incentivar a que las unidades económicas pecuarias incrementen la productividad (SAGARPA, 2016c).

burning plantations (for example, sugarcane). This is where two measures are analyzed which address some of these aspects set out in the Agriculture Promotion Program from SAGARPA:

- a) Use of biofertilizers, based on bacteria and fungi that live in symbiotic association with plants and help their natural nutrition process by fixing nitrogen from the atmosphere. This policy is justified in the Agriculture Promotion Program under the Agro-production Component, which considers the use of biofertilizers as an element for soil recovery from the application of organic fertilizers (Barragán and del Valle, 2016). The program grants incentives to increase the productivity from the acquisition of technological packages that include organic fertilizers to improve soils (SAGARPA, 2016a).
- b) Promotion of efficient irrigation and pumping technologies for a better use of water (Ávila, Muñoz and Guevara, 2008). This policy of irrigation technologies corresponds to the one listed in the Agriculture Promotion Program under the Irrigation Technology Component, specifically under Irrigation Systems (SAGARPA, 2016b). To finance these actions, the resources destined today to subsidizing the use of electricity for water pumping in agriculture can be redirected toward subsidies to modernize the irrigation techniques. In addition to having an impact on emissions, this policy would also allow protecting the water tables, an additional environmental objective to that of climate change mitigation (Muñoz-Piña *et al.*, 2008).

### Measures in the livestock sector

Livestock production generates emissions from the need to expand the grazing zones due to their degradation and the treatment of livestock excretes, among other factors (Ibarra-Flores *et al.*, 2006). In this study we analyze two changes to the livestock sector, suggested in the Sustainable Livestock Production Program and Livestock and Beekeeping Code (*Programa de Producción Pecuaria Sustentable y Ordenamiento Ganadero y Apícola*, PROGAN) of SAGARPA. The objective of this program is to incentivize for livestock economic units to increase productivity (SAGARPA, 2016c).

- a) Planeación del pastoreo, que implica la rehabilitación de agostaderos degradados y actividades de ajuste de carga, distribución de aguajes, saladeros y potreros tanto para evitar el sobrepastoreo como para proteger la vegetación. Este tipo de políticas están alineadas con el PROGAN (SAGARPA, 2016d, Art. 187).
- b) Generación de electricidad a partir de excretas de ganado como fuente alternativa de energía en la ganadería intensiva a través del aprovechamiento del biogás emanado de las excretas (Hernández *et al.*, 2017; Vera *et al.*, 2014). Esta actividad está alineada al Programa de Fomento a la Agricultura, bajo el Componente de Innovación Agroalimentaria, que tiene como objetivo apoyar la investigación y transferencia de tecnología para incrementar la innovación tecnológica en unidades productivas rurales (SAGARPA, 2016e). Así mismo, la Secretaría de Energía (SENER) cuenta con el Programa Especial para el Aprovechamiento de las Energías Renovables 2014-2018, que apoya el aumento en la participación que tienen los biocombustibles en la matriz energética, incluidos aquellos provenientes del biogás.
- a) Planning grazing, which implies the rehabilitation of degraded pasturelands and activities to adjust the load; and the distribution of water and salt troughs, and pastures, to avoid overgrazing and to protect the vegetation. These types of policies are aligned with PROGAN (SAGARPA, 2016d, Art. 187).
- b) Electricity generation from livestock excretas as an alternative source of energy in intensive livestock production through the exploitation of biogas emanating from excretas (Hernández *et al.*, 2017; Vera, Martínez and Estrada, 2014). This activity is aligned to the Agriculture Promotion Program under the Component of Agrifood Innovation, which has the objective of supporting research and transference of technology to increase the technological innovation in rural productive units (SAGARPA, 2016e). Likewise, the Ministry of Energy (*Secretaría de Energía*, SENER) has the Special Program for the Exploitation of Renewable Energies 2014-2018, which supports an increase in the participation of biofuels in the energetic matrix, including those from biogas.

Las medidas a analizar están alineadas con los planteamientos de SEMARNAT en torno a mitigación contenidas en la Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40 (SEMARNAT, 2013), así como los Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el periodo 2020-2030 (INECC, 2014). Se trata, por tanto, de actividades que contribuyen a los objetivos de desarrollo y ambientales del país.

## DESCRIPCIÓN DEL MODELO

El modelo utilizado para evaluar y comparar políticas agrícolas y pecuarias se basa en el planteamiento inicial de Ballard *et al.* (1985) y de Shoven y Whalley (1984) para modelos de equilibrio general computable, así como el algoritmo para la solución de problemas de complementariedad no lineal de Rutherford, utilizando el software para la modelación de sistemas de formulación y optimización matemática General Algebraic Modelling System (GAMS, Rutherford, 1987, 1999; Böhringer, Rutherford y Wiegard, 2011), así como el subsistema de modelación

The measures to be analyzed are aligned with the suggestions by SEMARNAT around mitigation contained in the National Climate Change Strategy Vision 10-20-40 (SEMARNAT, 2013), as well as the Mitigation and Adaptation Commitments in face of Climate Change for the period 2020-2030 (INECC, 2014). Therefore, they are activities that contribute to the development and environmental objectives of the country.

## DESCRIPTION OF THE MODEL

The model used to evaluate and compare agricultural and livestock policies are based on that first developed by Ballard *et al.* (1985) and de Shoven and Whalley (1984) for computable general equilibrium models, as well as the algorithm for the solution of Rutherford's non-linear complementarity problems, using the software to model systems of mathematical formulation and optimization, General Algebraic Modelling System (GAMS, Rutherford, 1987, 1999; Böhringer, Rutherford and Wiegard, 2011), and the subsystem of modelling for the solution in the Mathematical Programming

para la solución en programación Mathematical Programming System for General Equilibrium Analysis (MPSGE). Además, tiene su antecedente en el modelo dinámico de equilibrio general para México Boyd-Ibarrarán (Boyd e Ibarrarán, 2002; Ibarrarán y Boyd, 2006). Este tipo de métodos ha sido empleado anteriormente en otros países (Hertel, 2002; Bandara, 1991) y en México para abordar problemáticas similares (Taylor, Yunez-Naude, Dyer 1999; Taylor, Yunez-Naude, Hampton, 1999; Beghin *et al.*, 1997; Robinson *et al.*, 1993; Sobarzo, 1992).

La ventaja de utilizar estas plataformas es que facilita la programación y el análisis de sistemas de desigualdad no lineales basados en funciones de producción y utilidad con elasticidad de sustitución constante (CES). Los requerimientos de información del modelo incluyen parámetros de elasticidad y costos para todos los sectores de producción y de consumo, que pueden ser o no calibrados desde un equilibrio en la tendencia inicial. En ese sentido, la principal ventaja de basarse en el modelo mencionado es que éste incorpora estimaciones de parámetros para México, cuando se encontraron disponibles.

El modelo empleado presenta algunas diferencias respecto al modelo inicial, útiles para el análisis de las actividades primarias. En primer lugar, integra a la tierra como factor de la producción para los sectores agrícola y pecuario, además del trabajo y el capital. Esta modificación permite evaluar posibles conflictos por cambios de uso de suelo derivados de la instrumentación de políticas sectoriales. En segundo lugar, es un modelo estático, lo que permite identificar los resultados de corto plazo y trabajar de manera más accesible con un insumo fijo como la tierra. Por tanto, hay que considerar que los resultados tendrán que tomarse para un horizonte de planeación relativamente corto, de alrededor de 5 años.

El modelo está calibrado para el año 2010, tomando en cuenta datos de varias fuentes nacionales e internacionales, como Secretaría de Hacienda y Crédito Público, Banxico, Banco Mundial, entre otros, así como la matriz insumo-producto (INEGI, 2003) y la Encuesta Nacional Ingreso-Gasto de los Hogares (INEGI, 2010). Las variables que determina el modelo son producción sectorial, consumo por sector, comercio internacional<sup>4</sup>, y nivel de bienestar por tipo de agente representativo.

La economía está representada por 13 sectores productivos. En el sector primario se encuentran

System for General Equilibrium Analysis (MPSGE) programming. In addition, it builds on the Boyd-Ibarrarán general dynamic equilibrium model for Mexico (Boyd and Ibarrarán, 2002; Ibarrarán and Boyd, 2006). These types of models have been used before in other countries (Hertel, 2002; Bandara, 1991) and in Mexico to address similar problems (Taylor, Yunez-Naude, Dyer 1999; Taylor, Yunez-Naude, Hampton, 1999; Beghin *et al.*, 1997; Robinson *et al.*, 1993; Sobarzo, 1992).

The advantage of using these platforms is that they ease the programming and analysis of non-linear inequality systems based on production and utility functions with constant elasticity of substitution (CES). The model's information requirements include parameters of elasticity and costs for all the production and consumption sectors, which can be calibrated from an initial equilibrium. In this sense, the main advantage of using this kind of model is that it incorporates actual parameter estimations for Mexico on a sector by sector basis.

The model used presents some differences with regard to previous models, and these changes are useful for the analysis of primary activities. In the first place, in addition to labor and capital it integrates land as production factor for the agricultural and livestock sectors. This modification allows us to evaluate possible conflicts over changes in land use due to the implementation of new sectorial policies. In the second place, it is a static model, which allow us to identify short term results and also allows us to work with a fixed input such as land. Therefore, our results conforming to a relatively short planning horizon of around 5 years.

The model is calibrated for the year 2010, taking into account data from several national and international sources, such as the Ministry of Finance (*Secretaría de Hacienda y Crédito Público*), Banxico, and the World Bank (among others) as well as the input-product matrix (INEGI, 2003) and the National Survey of Household Income-Expense (INEGI, 2010). The variables that define the model are sectorial production, consumption per sector, international trade<sup>4</sup>, and level of welfare by type of representative agent.

The economy is represented by 13 productive sectors. The primary sector includes agriculture, livestock production, forestry and fishing. The energy related activities include mining, petroleum,



agricultura, ganadería, sector forestal y pesca. Las actividades energéticas incluyen minería, petróleo, gas, refinación y electricidad. El resto de la economía se compone de químicos y plásticos, manufacturas, transporte y servicios. Cada uno de ellos toma insumos materiales de los demás sectores e insumos de capital y trabajo, y tierra para el caso de las actividades agrícolas y pecuarias.

A través de una matriz de conversión que combina los sectores, la producción se transforma en bienes de consumo. Los bienes de consumo incluyen alimentos, bienes del hogar, servicios, energía, transporte público, transporte privado, vivienda y agua. Tanto la producción como el consumo se modelaron utilizando funciones de elasticidad de sustitución constante (CES). Por ejemplo, para el caso de la producción esta función toma la siguiente forma (Ecuación 1)

$$V_j = \varphi_j \left( \delta_{L,j} L_j^{\frac{\sigma_j-1}{\sigma_j}} + \delta_{K,j} K_j^{\frac{\sigma_j-1}{\sigma_j}} + \delta_{T,j} T_j^{\frac{\sigma_j-1}{\sigma_j}} + \delta_{E,j} E_j^{\frac{\sigma_j-1}{\sigma_j}} + \delta_{M,j} M_j^{\frac{\sigma_j-1}{\sigma_j}} \right)^{\frac{\sigma_j}{\sigma_j-1}} \quad (1)$$

donde  $V_j$  es el valor agregado de cada sector  $j$ , y  $L_j$ ,  $K_j$ ,  $E_j$  y  $M_j$  se refieren al trabajo, capital, tierra, energía e insumos materiales, respectivamente, que son utilizados para la producción del bien  $j$ . El término  $\varphi_j$  es un parámetro de transformación específico para cada sector,  $\sigma_j$  es la elasticidad de sustitución entre insumos y los parámetros  $\delta$  son proporciones definidas para cada grupo de insumos de manera que  $\delta_{L,j}, \delta_{K,j}, \delta_{T,j}, \delta_{M,j} > 0$  y  $\delta_{L,j} + \delta_{K,j} + \delta_{T,j} + \delta_{E,j} + \delta_{M,j} = 1$ . El consumo sigue una forma similar a la producción, con la peculiaridad de que los únicos insumos son los bienes producidos en otros sectores.

Los hogares mexicanos están divididos en 4 agentes representativos conforme su ingreso. El *Agente 1* agrupa los primeros dos deciles de ingreso, el *Agente 2* los siguientes tres, el *Agente 3* incluye los deciles seis, siete y ocho, mientras que el agente más rico, el *Agente 4* agrupa 20% de la población con mayores ingresos. En conjunto, los agentes consumen la producción nacional, junto con el gobierno y el sector externo, quien produce (importaciones para México) y también consume (exportaciones de México).

gas, refining and electricity. The rest of the economy is made up of chemicals and plastics, manufacture, transport and services. Each one of these takes material inputs from the other sectors and inputs of capital and labor, and land (in the case of agricultural and livestock activities).

Through a conversion matrix that combines the sectors, the production is transformed into consumption goods. The consumption goods include foods, household goods, services, energy, public transport, private transport, housing and water. Both the production and the consumption were modelled using constant elasticity of substitution (CES) functions. In the case of production this function takes the following form (Equation 1).

$$V_j = \varphi_j \left( \delta_{L,j} L_j^{\frac{\sigma_j-1}{\sigma_j}} + \delta_{K,j} K_j^{\frac{\sigma_j-1}{\sigma_j}} + \delta_{T,j} T_j^{\frac{\sigma_j-1}{\sigma_j}} + \delta_{E,j} E_j^{\frac{\sigma_j-1}{\sigma_j}} + \delta_{M,j} M_j^{\frac{\sigma_j-1}{\sigma_j}} \right)^{\frac{\sigma_j}{\sigma_j-1}} \quad (1)$$

where  $V_j$  is the added value of each sector  $j$ , and  $L_j$ ,  $K_j$ ,  $E_j$  and refer to labor, capital, land, energy and material inputs, respectively, which are used for production of the good  $j$ . The term  $\varphi_j$  is a specific transformation parameter for each sector,  $\sigma_j$  is the elasticity of substitution between inputs, and the parameters  $\delta$  are proportions defined for each group of inputs so that  $\delta_{L,j}, \delta_{K,j}, \delta_{T,j}, \delta_{M,j} > 0$  and  $\delta_{L,j} + \delta_{K,j} + \delta_{T,j} + \delta_{E,j} + \delta_{M,j} = 1$ . The consumption follows a similar form to that of production, with the only change being that the inputs are the goods and services consumed by each agent.

Mexican households are divided into 4 representative agents based on the income. *Agent 1* groups the first two deciles of income, *Agent 2* the next three, *Agent 3* includes the deciles six, seven and eight, while the richest agent, *Agent 4*, groups 20% of the population with highest income. As a whole, these agents consume the national production, together with the government and the external sector, which produces (imports for Mexico) and also consumes (exports from Mexico).

Each of the agents is characterized according to its consumption of goods and services in the economy.

Cada uno de los agentes está caracterizado de acuerdo al consumo de bienes y servicios observado en la economía. Todos los hogares reciben ingreso derivado del trabajo, pero solamente los dos agentes más ricos cuentan con activos financieros (acorde a los datos de la economía mexicana sobre ahorro). Cuando ocurre un choque o se instrumenta una política, los consumidores reaccionan modificando la relación trabajo-ocio y por tanto, el consumo. La utilidad de los agentes está modelada con funciones CES anidadas para todos los bienes, maximizando la utilidad sujeta a una restricción presupuestal:

$$U_c = U_c(X_c, R_c) \tag{2}$$

s.a.

$$TG_c + TF_c + (P_L * L_c) + (r * K * S_c) = (INV * S_c) + (P_X * X_c) + (P_L * R_c) \tag{3}$$

donde  $U_c$  es la utilidad del agente  $c$ ;  $X_c$  representa su consumo de bienes y servicios;  $R_c$  es la cantidad de ocio;  $TG_c$  son las transferencias del gobierno;  $TF_c$  son transferencias del sector externo;  $P_L$  reflejan los salarios;  $L_c$  es el trabajo;  $r$  es el ingreso obtenido por el capital, el cual es representado por  $K$ ;  $S_c$  es la proporción de capital que tiene cada hogar;  $INV$  es la inversión total;  $P_X$  es el precio de la canasta de bienes.

El comportamiento del gobierno se deriva de una maximización similar a la de los consumidores. Su ingreso depende de impuestos y aranceles, y gasta en bienes y servicios del mercado, o regresa parte de su ingreso a hogares y empresas a través de subsidios y transferencias. Es decir, el gobierno maximiza

$$U_G = U_G(X_G) \tag{4}$$

s.a.

$$\sum_{f=1}^3 FTX_f + \sum_{s=1}^{13} T0_s + \sum_{d=1}^9 TX_d + \sum_{s=1}^{13} TAR_s = (P_X * X_G) + \sum_{c=1}^4 TF_c \tag{5}$$

donde  $U_G$  representa la utilidad del gobierno, del lado del ingreso:  $FTX_f$  son impuestos a los factores de la producción,  $T0_s$  son impuestos a los sectores productivos,  $TX_d$  son impuestos a los bienes de consumo,  $TAR_s$

All the households receive income derived from labor, but only the two richest agents have financial assets (according to data of the Mexican economy on savings). When a shock takes place or a policy is implemented, the consumers react by modifying the labor-leisure relationship and, therefore, adjust their consumption. The utility of agents is modelled using a nested CES functions for all the goods, maximizing the utility subject to budgetary restriction:

$$U_c = U_c(X_c, R_c) \tag{2}$$

s.a.

$$TG_c + TF_c + (P_L * L_c) + (r * K * S_c) = (INV * S_c) + (P_X * X_c) + (P_L * R_c) \tag{3}$$

where  $U_c$  is the utility of agent  $c$ ,  $X_c$  represents its consumption of goods and services,  $R_c$  is the amount of leisure,  $TG_c$  are government transferences,  $TF_c$  are transferences of the external sector,  $P_L$  reflect the salaries,  $L_c$  is labor,  $r$  is the income obtained by the capital, which is represented by  $K$ ,  $S_c$  is the proportion of capital that each household has,  $INV$  is the total investment, and  $P_X$  is the price of the basket of goods.

The government's behavior is derived from a similar maximization to that of the consumers. Its income depends on inputs and fees. They spend this on goods and services of the market, or they return it to households and businesses through subsidies and transferences. That is, the government maximizes

$$U_G = U_G(X_G) \tag{4}$$

s.a.

$$\sum_{f=1}^3 FTX_f + \sum_{s=1}^{13} T0_s + \sum_{d=1}^9 TX_d + \sum_{s=1}^{13} TAR_s = (P_X * X_G) + \sum_{c=1}^4 TF_c \tag{5}$$

where  $U_G$  represents the utility of the government, with respect to income:  $FTX_f$  are taxes on production factors,  $T0_s$  are taxes on the productive sectors,  $TX_d$  are taxes on the consumption goods,  $TAR_s$  are fees; and with respect to expenses:  $P_X$  is the price of goods,  $X_G$  is the consumption of goods and services, and  $TF_c$  are government transfers to the households.

son aranceles, y del lado del gasto:  $P_x$  es el precio de los bienes,  $X_G$  es el consumo de bienes y servicios, y  $TF_c$  son transferencias del gobierno a los hogares.

El agente externo intercambia importaciones por bienes producidos en el país, y transfiere ingresos a los hogares por un monto equivalente a la diferencia entre exportaciones e importaciones. Por tanto, el comercio internacional en el modelo se define como

$$\sum P_m * IM_j = \sum P_j * EX_j + \sum TF_c \quad (6)$$

donde  $P_m$  es el precio de las importaciones;  $IM_j$  es el volumen de importaciones;  $P_j$  es el precio de las exportaciones;  $EX_j$  es el volumen de exportaciones;  $TF_c$  son las transferencias del agente externo. El comercio internacional opera bajo el supuesto de Armington (1969) donde los sectores son importadores y exportadores a la vez, por lo que todos los bienes y servicios de la economía se consideran sustitutos imperfectos de aquellos producidos en el extranjero.

### Simulaciones

Para llevar a cabo las simulaciones se modificaron algunos parámetros. Para simular un mayor uso de fertilizantes, se consideró la sustitución de 25% del consumo de fertilizantes nitrogenados de origen fósil por biofertilizantes a nivel nacional<sup>5</sup>. El ahorro resultante de acuerdo a los costos que publica la SAGARPA (2014), se comparó con el costo de producir biofertilizantes (Medina, 2007).

La política de promoción de tecnologías de riego y bombeo eficientes, se basó en la propuesta de desacoplamiento de la tarifa 09, que subsidia la electricidad para el bombeo de agua en el sector agrícola. El monto de esos subsidios (de acuerdo al escenario base) se redirigió hacia la compra de equipos de bombeo eficientes, que en promedio incrementan la eficiencia y disminuyen el gasto en electricidad (Espino, Pedraza y Hernández, 2011).

Para las medidas de mitigación del sector ganadero en la parte de planeación del pastoreo, se consideró el análisis de Ibarra *et al.* (2013) para la estimación de costos y ganancias en rendimientos, aunque se tomó un escenario conservador en costos y rendimientos.

Por último, la generación de electricidad a partir de excretas de ganado considera la generación de electricidad a partir de biogás generado en establos

The external agent exchanges imports for goods produced in the country, and transfers income to the households for an amount equivalent to the difference between exports and imports. Therefore, international trade in the model is defined as

$$\sum P_m * IM_j = \sum P_j * EX_j + \sum TF_c \quad (6)$$

where  $P_m$  is the price of imports;  $IM_j$  is the volume of imports;  $P_j$  is the price of exports;  $EX_j$  is the volume of exports and  $TF_c$  are the transfers from the external agent. International trade operates under the Armington (1969) assumption where the sectors are importers and exporters at the same time, which is why all the goods and services of the economy are considered imperfect substitutes for those produced in foreign countries.

### Simulations

Some parameters were modified to carry out the simulations. To simulate a higher use of fertilizers, a substitution of 25% of the consumption of nitrogenous fertilizers of fossil origin for biofertilizers was considered at the national level<sup>5</sup>. The resulting savings according to the costs that SAGARPA (2014) published were compared to the cost of producing biofertilizers (Medina, 2007).

The policy of promotion of efficient irrigation and pumping technologies was based on the proposal of disengagement of fee 09, which subsidizes electricity for water pumping in the agricultural sector. The amount of these subsidies (according to the base scenario) was redirected toward the purchase of efficient pumping equipment, which, on average, increase efficiency and decrease the expenditure in electricity (Espino, Pedraza and Hernández, 2011). For the mitigation measures of the livestock sector in the part of planning for grazing, the analysis by Ibarra *et al.* (2013) was used for the estimation of costs and profits in the yields, although a conservative scenario in costs and yields was used.

Lastly, generating electricity from livestock excretes entails the generation of electricity from biogas generated in specialized dairy barns and large-scale pig farms (IRRI México, 2013). Projects from the Shared Risk Trust (*Fideicomiso de Riesgo Compartido*, FIRCO, 2014) were considered, as well

lecheros especializados y granjas porcinas de gran escala (IRRI México, 2013). Se consideraron los proyectos del Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO, 2014), información de FAO (FAO, 2002), y el ahorro en electricidad (REMBIO, 2012).

### Supuestos relevantes

El modelo considera la producción en un ambiente competitivo para todos los sectores. Este supuesto se cumple en lo general para los sectores relevantes, excepto por el sector energético. Por tanto, se analizó la posibilidad de considerar el comportamiento no competitivo que mostraba el sector energético. Sin embargo, este escenario se desechó principalmente por el hecho de que, a pesar de contar con jugadores dominantes, el poder de estos jugadores no se refleja en los precios observados. Por ejemplo, aun cuando pueden existir barreras a la entrada de abastecedores de combustibles, el precio de los combustibles en ocasiones ha estado por debajo del esperado bajo competencia. Es decir, si bien la estructura competitiva no refleja fielmente la estructura del sector, el sesgo es menor que si se modela bajo otro tipo de estructuras.

En cuanto a la estructura fiscal, el modelo establece el cobro del IVA para todos los bienes, excepto los exentos, y en algunos, se cobra el impuesto especial sobre producción y servicios (IEPS). Los impuestos al ingreso se cobran de manera diferenciada de acuerdo a la división que se hace por agentes, y los subsidios se distribuyen entre sectores y actores de acuerdo a lo observado en la economía mexicana.

Uno de los parámetros relevantes y a la vez sensibles en el modelo son las elasticidades. En este caso, la definición de elasticidades de sustitución entre capital, trabajo y otros insumos, así como las elasticidades de la demanda, se obtuvieron de la literatura existente, en caso de estar disponibles. Además, se llevó a cabo análisis de sensibilidad que comprobaron la robustez del modelo.

### Limitaciones del análisis

El uso de este modelo para llevar a cabo la simulación de políticas del sector agropecuario reconoce la interacción entre sectores, y con ello los efectos indirectos relevantes para las políticas que se analizan. Sin embargo, el sector primario en la economía mexicana representa una baja proporción de la

as information from FAO (FAO, 2002) and savings in electricity (REMBIO, 2012).

### Relevant assumptions

The model considers production in a competitive environment for all the sectors. This assumption is generally fulfilled for the relevant sectors, except for the energy sector. Therefore, the possibility of considering the non-competitive behavior shown by the energy sector was analyzed. However, this scenario was cast aside primarily due to the fact that despite having dominant players, the power of these players is not reflected in the prices observed. For example, even when there may be entry barriers for fuel suppliers, the fuel price has sometimes been below the one expected under competition. That is, although the competitive structure does not reflect faithfully the sector's structure, the bias is lower if it is modelled under a different type of structure.

When it comes to the fiscal structure, the model establishes charging a value-added tax (VAT) for all the goods, except those which are exempt, and the special tax on goods and services (GST) is charged in some cases. The income taxes are charged in a differentiated way according to the division made by agents, and the subsidies are distributed among sectors and actors according to what was observed in the Mexican economy.

One of the important economic parameters used in the model are the elasticities. In this case, the definition of elasticities of substitution between capital, labor and other inputs, as well as the elasticities of demand, were obtained from the existing literature (when available). In addition, a sensitivity analysis was carried out which tested the model's robustness.

### Limitations to the analysis

The use of this model to carry out the simulation of policies of the farming sector recognizes the interaction between sectors, and with that, the important indirect effects of the policies are analyzed. However, the primary sector of the Mexican economy represents a low proportion of aggregate production. Therefore, the effects of these policies result in quite limited changes for the model's other sectors. Thus, the simulation scenarios were divided into two blocks, each with two policies.

producción agregada. Por tanto, los efectos de estas políticas resultan en cambios muy limitados para los demás sectores. Por ello, los escenarios de simulación se dividieron en dos bloques, cada uno con dos políticas.

Por otra parte, si bien podemos definir a grandes rasgos efectos sobre producción, bienestar y consumo, este análisis de equilibrio general para la economía mexicana podría complementarse con análisis sectoriales más específicos que desagreguen los efectos por subsector. Asimismo, el carácter nacional del modelo no permite identificar efectos regionales. Esto es otra limitante, ya que México se compone de regiones muy diversas, y cada una de estas políticas tendrá un impacto muy distinto en ellas.

## SIMULACIONES Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### Resultados generales

Los resultados se muestran a partir de tres escenarios. El primer escenario, *políticas agrícolas*, modela el uso de biofertilizantes y la promoción de tecnologías eficientes de riego y bombeo. El segundo escenario, *políticas ganaderas*, incluye la planeación del pastoreo y la generación de electricidad a partir de las excretas de ganado. El tercer y último escenario, *políticas agropecuarias combinadas*, integra tanto las políticas agrícolas como las ganaderas. Los resultados de los tres escenarios se muestran como crecimiento en las variables en relación al escenario tendencial.

Las políticas agrícolas simulan el impacto del uso de biofertilizantes así como la promoción de tecnologías de riego modernas que sustituyen al estímulo a la tarifa 09<sup>6</sup>. Los costos del sector se reducen, por un lado, por el ahorro en energía y, por el otro, por la disminución en el uso de fertilizantes químicos. Además, se impulsa el desarrollo tecnológico. Como resultado aumenta el PIB en 0.18% y el bienestar social se incrementa (0.06%), pero el gobierno disminuye su bienestar (-0.20%), ya que cuenta con menos recursos (Figura 1, primer bloque). Esto último es resultado de que los recursos erogados para el apoyo a los biofertilizantes son ligeramente mayores que el ahorro que observa al modificar los subsidios al bombeo de agua.

El segundo escenario, el desarrollo de políticas ganaderas, utiliza las excretas de ganado para la generación de energía y promueve la instrumentación de

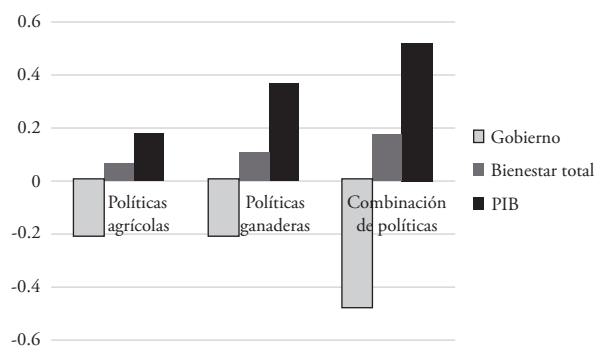
If we are able to broadly quantify the effects of various policies on production, welfare and consumption, this general equilibrium analysis for the Mexican economy could be complemented with more specific sectorial analyses that disaggregate the effects by subsector. Similarly, the national character of the model does not allow us to identify regional effects. This is another limitation, since Mexico is made up of quite diverse regions, and each of these policies will have a very different impact on them.

## SIMULATIONS AND DISCUSSION OF RESULTS

### General results

The results are shown based on three scenarios. The first scenario, *agricultural policies*, models the use of biofertilizers and the promotion of efficient irrigation and pumping technologies. The second scenario, *livestock policies*, includes the planning of grazing and the generation of electricity from livestock excretes. The third and last scenario, *combined farming policies*, integrates both agricultural and livestock policies. The results from the three scenarios are shown as growth in the variables in relation to the trend analysis scenario.

The agricultural policies simulate the impact of the use of biofertilizers as well as the promotion of modern irrigation technologies that substitute the stimulus on the fee 09<sup>6</sup>. The costs in this sector are



Fuente: elaboración propia. ♦ Source: Prepared by authors.

**Figura 1.** Crecimiento en PIB, bienestar del gobierno y social (% en relación al escenario base).

**Figure 1.** Growth of GDP, government and social welfare (% in relation to the base scenario).

prácticas de planeación del pastoreo con menor impacto ambiental y mayor productividad. Los resultados agregados también muestran impactos positivos (Figura 1, segundo bloque) en producción (0.36% por arriba del escenario tendencial) y bienestar social (0.10%), aunque el gobierno nuevamente se ve afectado por el apoyo al sector (-0.20%). En otras palabras, ambos escenarios albergan políticas que incrementan la productividad y eliminan distorsiones de la política económica, impactando de manera positiva la economía nacional.

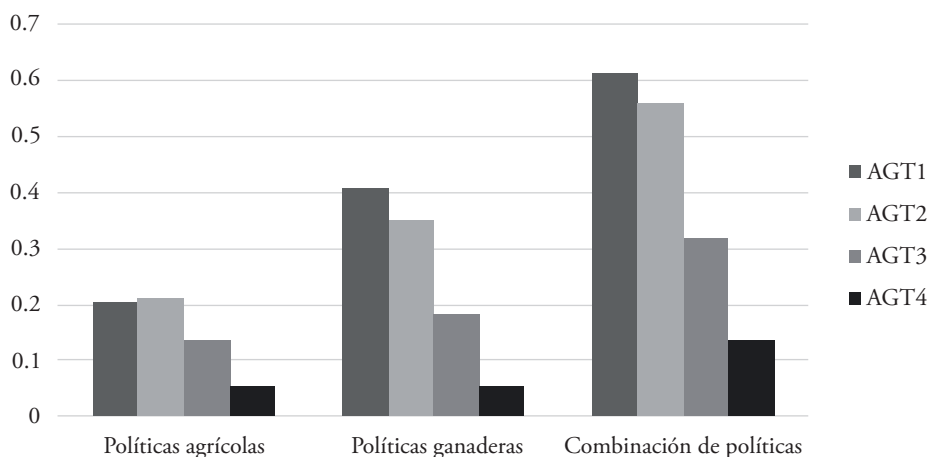
El último escenario muestra los efectos combinados de los dos grupos de políticas en los primeros dos escenarios (Figura 1, tercer bloque). Como sería de esperarse, los dos tipos de políticas se complementan y sus resultados se refuerzan. El impacto combinado aumenta aún más la producción y el bienestar social (0.52% y 0.17%), sin embargo, nuevamente se observa la caída en bienestar del gobierno dados los fondos que debe dedicar al desarrollo agropecuario del país (-0.47%).

El resultado de estas políticas en el bienestar de los hogares es progresivo (Figura 2), es decir, el mayor incremento en bienestar respecto al escenario base es para el segmento más pobre de la población. Sin embargo, los otros agentes también experimentan mejoras. La progresividad del impacto de la política agrícola se explica por la caída en precio de los alimentos y el hecho de que los productos agrícolas son de primera necesidad. La política ganadera refleja

reduced, on the one hand, by energy savings and, on the other, by a decrease in the use of chemical fertilizers. In addition, technological development is promoted. As a result of this, GDP increases by 0.18% and social welfare increases (0.06%), although the government decreases its welfare (-0.20%), since it has fewer resources (Figure 1., first block). The latter is because the resources spent for backing biofertilizers is slightly higher than the savings observed when subsidies to water pumping are modified.

The second scenario, the development of livestock policies, uses livestock excretes for the generation of energy and promotes the implementation of planning practices for grazing with lower environmental impact and higher productivity. The aggregated results also show positive impacts (Figure 1, second block) in production (0.36% above the trend analysis scenario) and social welfare (0.10%), although the government is again affected by the support to the sector (-0.20%). In other words, both scenarios entail policies that increase productivity and eliminate distortions of the economic policy, positively impacting the national economy.

The last scenario shows the combined effects from the two groups of policies in the first two scenarios (Figure 1, third block). As would be expected, the two types of policies complement each other and their results are reinforced. The combined impact increases even more the production and social welfare



Fuente: elaboración propia. ♦ Source: Prepared by authors.

**Figura 2.** Incremento en bienestar por grupo de ingreso (% en relación al escenario base).  
**Figure 2.** Increase in welfare per group of income (% in relation to the base scenario).

el impacto del sector en los alimentos, pero también contribuye a disminuir el gasto en energía, ambos rubros considerados como prioritarios para el bienestar de los hogares. Por tanto, la combinación de políticas con su consecuente caída en el precio de bienes y servicios en alimentos y energía conduce a incrementos en bienestar para todos los agentes. En los tres escenarios se muestra un mayor incremento para los agentes 1 y 2, es decir para 50% de la población con menos recursos.

### Resultados sectoriales

En cuanto a la producción sectorial, el mayor efecto del primer escenario ocurre en el sector agrícola (6% respecto al escenario base) donde la combinación de cambio tecnológico y la introducción de fertilizantes naturales induce el aumento en la producción de cultivos (Cuadro 1, segunda columna). En menor medida, se observan cambios en ganadería y manufacturas (0.49 y 0.26%), dado el vínculo insumo-producto de estos sectores respecto a los cultivos. En contraste, la producción de químicos, electricidad y petróleo cae, ya que el uso de químicos disminuye con los biofertilizantes, y el incremento en la eficiencia energética en sistemas de riego reduce la demanda por energía.

Como muestra también el Cuadro 1 (tercera columna), si se instrumenta la política ganadera los sectores más beneficiados serían ganadería y electricidad (9.27 y 2.35% respecto al escenario base), por

(0.52% and 0.17%); however, the fall in government welfare is observed again, given the funds that must be devoted to agriculture and livestock development of the country (-0.47%).

The result of these policies in households' welfare is progressive (Figure 2); that is, the highest increase in welfare compared to the base scenario is for the poorest segment of the population. However, the other agents also experienced improvements. The progressiveness of the impact of the agricultural policy is explained by the fall in food prices and the fact that agricultural products are of essential goods. The livestock policy reflects the impact of the sector on foods, but also contributes to decreasing expenses in energy, both considered as priority segments for household welfare. Therefore, the combination of policies with its consequent fall in the price of goods and services for foods and energy leads to increases in welfare for all agents. In the three scenarios, there is a relatively higher increase for agents 1 and 2, that is, for the 50% of the population with least resources.

### Sectorial results

With respect to sectorial production, the greatest effect of the first scenario occurs in the agricultural sector (6% compared to the base scenario) where the combination of technological change and the introduction of natural fertilizers induces an increase in the production of crops (Table 1, second column).

**Cuadro 1.** Incremento en producción por sector (% en relación al escenario base).

**Table 1.** Increase in production per sector (% in relation to the base scenario).

	Políticas agrícolas	Políticas ganaderas	Combinación de políticas
Agricultura	6.00	0.40	6.80
Ganadería	0.49	9.27	10.24
Forestal	0.00	4.76	4.76
Pesca	0.00	0.00	0.00
Petróleo	-0.25	0.00	0.00
Gas Natural	0.00	0.00	0.00
Minería	0.00	0.00	0.00
Refinación	0.00	0.35	0.35
Transporte	0.00	0.21	0.21
Electricidad	-0.78	2.35	1.57
Químicos y plásticos	-0.67	0.50	0.00
Servicios	0.00	0.11	0.12
Manufacturas	0.26	0.79	1.09

Fuente: elaboración propia. ♦ Source: prepared by authors.

el incremento en productividad del sector ganadero y su aportación a la generación de electricidad. Asimismo, se observan incrementos en aquellos sectores que guardan relación con ganadería y electricidad.

Finalmente, al instrumentar ambas políticas de manera conjunta se observa un marcado incremento en la producción de ambos sectores, agricultura y ganadería, así como un aumento en manufacturas, ya que utiliza insumos de ambos sectores. El sector eléctrico también incrementa su producción por los efectos derivados de la política ganadera (Cuadro 1, cuarta columna).

Los resultados observados en los bienes de consumo (Cuadro 2) son análogos a los de producción. Con la política agrícola, el aumento en producción de cultivos induce a una caída en los precios y por tanto a un mayor consumo de alimentos. En cuanto a las acciones en el sector ganadero, los efectos se traducen en un aumento en el consumo de alimentos y energía, principalmente, con impactos secundarios en bienes y servicios. El mayor impacto en el consumo se observa con la política compuesta, con efectos directos sobre alimentos y energía, y beneficios indirectos sobre bienes del hogar, automóviles, transporte y servicios.

### Uso de la tierra

El impacto en las actividades agrícolas y ganaderas sobre el uso de la tierra se muestra como incremento o decremento en relación a los demás insumos no materiales: trabajo y capital. Cuando se apoya una actividad intensiva en el uso de la tierra, se espera que su precio crezca en relación al de los demás factores.

Changes are observed to a lesser degree in livestock and manufacturing (0.49 and 0.26%), given the input-product link of these sectors with respect to crops. By contrast, the production of chemicals, electricity and petroleum falls, since the use of the chemicals decreases with biofertilizers and the increase in the energetic efficiency in irrigation systems reduces the demand for energy.

As Table 1 also shows (third column), if the livestock policy is implemented the most benefitted sectors would be livestock production and electricity (9.27 and 2.35% compared to the base scenario), due to the increase in productivity of the livestock sector and their contribution to electricity generation. Likewise, increases are observed in the sectors that have a relationship with livestock and electricity.

Finally, a marked increase in production of both sectors, agriculture and livestock production, is observed when both policies are implemented jointly, as well as an increase in manufacturing, since manufacturing uses inputs from both sectors. The electric sector also increases its production as a result of effects derived from the livestock policy (Table 1, fourth column).

The results observed in consumption goods (Table 2) are akin to those of production. With the agricultural policy, the increase in crop production induces a fall in prices and therefore a higher consumption of foods. When it comes to actions in the livestock sector, the effects are translated mainly into an increase in the consumption of foods and energy, with secondary impacts on goods and services. The greatest impact in consumption is observed with the compound policy, with direct effects on foods

**Cuadro 2.** Incremento en consumo por tipo de bien (% en relación al escenario base).

**Table 2.** Increase in consumption per type of good (% in relation to the base scenario).

	Políticas agrícolas	Políticas ganaderas	Combinación de políticas
Alimentos	0.42	0.48	0.96
Bienes	0.09	0.38	0.47
Servicios	0.06	0.12	0.18
Transporte privado	0.00	0.00	0.38
Energía	0.00	0.72	0.72
Transporte público	0.00	0.00	0.28
Gasolina	0.00	0.00	0.00
Agua	0.00	0.00	0.00
Vivienda	0.00	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia. ♦ Source: prepared by authors.



El uso más intensivo de la tierra en el sector agrícola hace que al instrumentar el conjunto de acciones en el primer escenario se incremente el precio de la tierra en relación al trabajo (0.8%) y al capital (1.1%). En cambio, en la política ganadera los resultados indican que el trabajo sería el insumo con mayores ganancias ya que gran parte de los apoyos se irían a los trabajadores en ganadería y energía. Por tanto, en este caso el precio del trabajo aumentaría con relación a los de la tierra (0.1%) y capital (0.5%). Sin embargo, el precio de la tierra también aumentaría respecto al capital en los sectores que utilizan tierra.

Finalmente, como las actividades de las políticas agrícolas y ganaderas financian actividades que utilizan la tierra como insumo y son intensivas en trabajo, aumenta la demanda por ambos insumos, tierra y trabajo, cuando se instrumenta la política combinada. Esto se refleja en el incremento en el precio de estos insumos en relación al precio del capital. La renta de la tierra aumenta en relación al capital (1.7%) y en menor medida, también en relación al trabajo (0.8%).

Aun cuando no se identificaron ejercicios parecidos a partir de otros modelos de equilibrio general computable, en términos generales los resultados están en la misma línea de los que se presentan en Hertel (2002) para otros países, y Taylor, Yúnez-Naude y Hampton (1999) o Taylor, Dyer y Yúnez-Naude (2005) para México, aunque a distinta escala.

## CONCLUSIONES

Se simularon políticas del sector agrícola (uso de biofertilizantes y de la tecnificación del riego para que sea más eficiente) y ganadero (planeación del pastoreo y la generación de electricidad a partir de las excretas de ganado) que pueden apoyar el esfuerzo en cambio climático del país. Tanto haciendo simulaciones para cada sector (agrícola y pecuario) como una simulación que conjunta las cuatro políticas, las acciones mencionadas apoyan la productividad del sector agropecuario, tienen un impacto marginal pero positivo en el crecimiento del PIB agregado, e incrementan el bienestar de los hogares de manera progresiva.

Estos resultados muestran que existen acciones en el sector agropecuario que conllevan un doble dividendo en términos de crecimiento económico y de políticas de mitigación. Los objetivos climáticos generan

and energy, and indirect benefits on household, automobiles, transport and services goods.

## Land use

The impact of agricultural and livestock activities on land use is shown as an increase or decrease in its relation to the other non-material inputs: labor and capital. When an activity intensively uses land, then an increase in that activity will increase the price of land in relation to the other primary factors of production.

The intensive use of land in the agricultural sector means that implementing the set of actions in the first scenario increases the price of land in relation to labor (0.8%) and capital (1.1%). When it comes to our livestock policies, however, the results indicate that labor is the input with highest factor share since a large part of the subsidies would go to workers in livestock production and energy. Therefore, in this case the price of labor would increase with relation to those of land (0.1%) and capital (0.5%). However, the price of land would also increase with respect to that of capital in those sectors that use land.

Finally, since the activities of agricultural and livestock policies finance activities that use land as an input and are labor intensive, when the compound policy is implemented there is an increase in the demand for both inputs of land and labor. This is reflected in the price increase of these inputs in relation to the price of capital. Land rental increased in relation to capital (1.7%) and, to a lesser degree, also in relation to labor (0.8%).

Even when no similar exercises from other computable general equilibrium models were identified, in general terms the results are in line with those presented in Hertel (2002) for other countries, and Taylor, Yúnez-Naude and Hampton (1999) or Taylor, Dyer and Yúnez-Naude (2005) for Mexico, although at a different scale.

## CONCLUSIONS

Policies of the agricultural sector (use of biofertilizers and of irrigation technology to increase efficiency) and the livestock sector (planning of grazing and the electricity generation from livestock excretas) were simulated in order to gauge to what degree they can improve welfare and support the country's effort regarding climate change. Simulations were made

un incentivo adicional para fortalecer programas con este tipo de acciones, incluyendo establecer obligatoriedad en acciones que hasta ahora han sido voluntarias, o ligarlas al acceso a subsidios agropecuarios. Alcanzar los objetivos económicos requiere apoyo político, como el caso de la propuesta de eliminación de subsidios al bombeo para la agricultura a través de la tarifa 09. Un esquema de desacoplamiento como el propuesto en este artículo, permite a los agricultores mantener los beneficios con acciones que permitan una menor emisión de GEI, en comparación al escenario actual.

Además, estas medidas deberán fortalecerse independientemente de los acuerdos que el país logre en la política climática internacional. Acciones que fomenten el crecimiento del país y logren contribuir con la estrategia climática, deberían ser las primeras en ser instrumentadas. El objetivo económico y de progreso en el sector rural justifica su apoyo.

Por otra parte, este tipo de políticas también contribuyen, aunque de manera marginal, a la transición energética del país mediante el fomento de nuevas fuentes de energía que están disponibles para un sector de la población altamente marginado. Si bien es cierto que este tipo de resultados son positivos en tanto incrementan la producción y el bienestar, requieren de la erogación inicial de recursos públicos, pero dados los efectos tanto ambientales como económicos y sociales, están plenamente justificados.

Por último, el presente artículo demuestra la utilidad de considerar aspectos tanto a nivel microeconómico como macroeconómico en un modelo de equilibrio general. No es solamente que estas políticas contribuyen al crecimiento del país, sino que sus efectos directos e indirectos hacen que los hogares de menos ingresos obtengan los mayores beneficios, ya que los precios de la energía y los alimentos permiten un mayor consumo.

## NOTAS

<sup>4</sup>El comercio internacional no se reporta en los resultados del estudio, ya que se trata de políticas con incidencia en el ámbito nacional, por lo que los efectos en comercio son marginales. ♦ International trade is not reported in the study's results, since these are policies with impact in the national sphere, which is why the effects on trade are marginal.

<sup>5</sup>De acuerdo al INIFAP, usar biofertilizantes podría

both for each sector (agricultural and livestock), as well as a simulation that combines the four policies. These actions promote productivity in the farming sector, have a marginal but positive impact on the growth of the aggregated GDP, and increase the household welfare in a progressive way.

These results show that there are actions in the farming sector which entail a double dividend in terms of economic growth and climate change mitigation. The climate objectives generate an additional incentive to strengthen programs which entail these type of actions, including establishing the obligatory nature of actions that, until now, have been voluntary, or linking them to agricultural and livestock subsidies. Reaching these economic objectives requires political support, as in the case of the proposal to eliminate subsidies to pumping for agriculture through the fee 09. Furthermore, a disengagement scheme such as the one proposed in this article allows farmers reap the benefits from those actions that allow a lower emission of GHG compared to the current policy.

In addition, these measures ought to be strengthened regardless of whatever international climate agreements are eventually enacted. Actions which foster growth in the country and manage to contribute to the climate strategy should be the first to be implemented. The objective of economic progress in the rural sector justifies their support.

On the other hand, this type of policies also contributes, however modestly, to the transition of the country to the promotion of new sources of energy available to an economic sector with a highly marginalized population. Although it is true that these results are positive insofar as they increase production and welfare, they require an initial expenditure of public resources, although given the effects, both environmental and economic and social, they are fully justified.

Lastly, this article shows the usefulness of considering aspects (both at the microeconomic and macroeconomic levels) within a general equilibrium model framework. Indeed by using this framework we see that these policies not only contribute to the country's growth, but that their direct and indirect effects have the greatest benefits for low income households, since lower energy and food prices allow for a higher level of consumption.

permitir reducir el uso de fertilizantes químicos entre 30-50%. Además, existen estudios que muestran que además de que disminuyen los costos, el rendimiento podría aumentar (Aguado-Santacruz, 2011). ♦ According to INIFAP, using biofertilizers could allow reducing the use of chemical fertilizers in 30-50%. In addition, there are studies that show that in addition to decreasing the costs, the yield could increase (Aguado-Santacruz, 2011).

<sup>6</sup>La tarifa 09 se define como la tarifa de estímulo para la electricidad utilizada en los equipos de bombeo y rebombeo de agua para riego. ♦ The fee 09 is defined as the stimulus fee for the electricity used in the pumping and re-pumping equipment for irrigation water.

### LITERATURA CITADA

- Armington P. S. 1969. A theory of demand for products distinguished by place of production. IMF Staff Papers, 16, 159-176.
- Avila-Forcada, S., Muñoz-Piña, C., y Guevara-Sanguinés, A. 2008. Cómo evitar el agotamiento de los acuíferos en México: Análisis del desacoplamiento del subsidio a la tarifa eléctrica de bombeo agrícola. El agua en México: Consecuencias de las políticas de intervención en el sector. El Fondo de Cultura Económica, México, DF.
- Ballard, C.L., Fullerton D., Shoven J.B., y Whalley J. 1985. A General Equilibrium Model for Tax Policy Evaluation. Chicago: University of Chicago Press.
- Bandara, J. S. 1991. Computable general equilibrium models for development policy analysis in LDCs. Journal of economic surveys, 5(1), 3-69.
- Barragán-Ocaña, A., y del Carmen del-Valle-Rivera M. 2016. Rural development and environmental protection through the use of biofertilizers in agriculture: An alternative for underdeveloped countries? Technology in Society, 46, 90-99.
- Basurto Hernández, S., y Escalante Semerena R. 2012. Impacto de la crisis en el sector agropecuario en México. Economía UNAM, 9(25), 51-73.
- Beghin, J., Dessus S., Roland-Holst D., y Van Der Mensbrugge D. 1997. The trade and environment nexus in Mexican agriculture. A general equilibrium analysis. Agricultural Economics, 17(2-3), 115-131.
- Böhringer, C., Rutherford T.F., y Wiegard W. 2011. Computable General Equilibrium Analysis: Opening a Black Box. Discussion Paper 03-56, Center for European Economic Research, Alemania.
- Boyd, R.G., e Ibararán, M. E. 2002. Cost of Compliance with the Kyoto Protocol: A Developing Country's Perspective. Energy Economics 24: 21-39.
- Bravo Peña, L. C., Doode Matsumoto O. S., Castellanos Villegas A. E., y Espejel Carbajal I. 2010. Políticas rurales y pérdida de cobertura vegetal: Elementos para reformular instrumentos de fomento agropecuario relacionados con la apertura de praderas ganaderas en el noroeste de México. Región y sociedad, 22(48), 3-35.
- Espino, J. F., Pedraza J. A., y Hernández C. 2011. Estudio de sistemas de bombeo agropecuarios en México. México D.F.: GIZ, CONUEE. Recuperado por última vez el 3 de marzo de 2018 de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200263/Informe\\_bombeo\\_AgricolaVF.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200263/Informe_bombeo_AgricolaVF.pdf)
- FAO. 2002. Reporte de la Iniciativa de la Ganadería, el Medio Ambiente y el Desarrollo (LEAD) - Integración por Zonas de la Ganadería y de la Agricultura Especializadas (AWI) - Opciones para el Manejo de Efluentes de Granjas Porcícolas de la Zona Centro de México.
- FIRCO. 2014. Proyectos apoyados por folio de subproyecto y tecnología apoyada [base de datos]. México D.F.: Fideicomiso de Riesgo Compartido.
- González Chávez, H., y Macías Macías A. 2007. Vulnerabilidad alimentaria y política agroalimentaria en México. Desacatos, (25), 47-78. Recuperado en 21 de febrero de 2018, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1607-050X2007000300003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1607-050X2007000300003&lng=es&tlng=es).
- Hernández, J. A. V., Aguilar H. A. N., Ramos J. M. G., Lárraga T. G. H., y Ortíz A. F. V. 2017. Generación, caracterización y uso del biogás, producto de la digestión anaerobia de las excretas de ganado bovino. Lacandonia, 5(2), 149-158.
- Hertel, T. W. 2002. Applied general equilibrium analysis of agricultural and resource policies. Handbook of agricultural economics, 2, 1373-1419.
- Ibarra, F., Martín M., Ortega A., Denogean F., y Moreno S. 2013. Alternativas prácticas de conservación y mejoramiento de agostaderos en zonas áridas y semiáridas para su uso en la ovnicultura
- Ibarra-Flores, F. A., Martín-Rivera M. H., Denogean-Ballesteros F. G., y Aguirre-Murrieta R. 2006. Buffelgrass, cattle, and the Sonoran Desert. Invasive plants on the move: Controlling them in North America, 375.
- Ibarrarán, M.E., and Boyd R.G. 2006. Hacia el Futuro: Energy, Economics and the Environment in 21st Century Mexico. Holanda: Springer.
- INECC. 2014. Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el periodo 2020-2030. Recuperado de: [http://www.inecc.gob.mx/descargas/difusion/2015\\_mex\\_indc\\_presentacion.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/difusion/2015_mex_indc_presentacion.pdf), acceso 3 de marzo de 2018.
- INEGI. 2003. Sistema de Cuentas Nacionales Matriz de Insumo Producto 2003. México.
- INEGI. 2010. Encuesta Nacional Ingreso-Gasto de los Hogares. México.
- INEGI. 2014. Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo trimestral. Indicadores estratégicos.
- INEGI. 2016. Indicadores principales del Banco de Información, Recuperado de: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx>, accesado el 5 de Noviembre de 2017.
- Aguado-Santacruz, G. 2011. Biofertilización de maíz: Práctica redituable, factible y necesaria para la agricultura de nuestro país. INIFAP, Claridades Agropecuarias 214, pp: 42-47.

—End of the English version—



- IRRI Mexico. 2013. Building from lessons learned to promote anaerobic digestion technology for manure management in Mexico. Phase II: developing pathways for private sector investment- Final project report. México D.F.: Instituto Internacional de Recursos Renovables A.C.
- López, C. A., y Martínez-Trinidad S. 2011. ¿Cuánto nos cuesta la erosión de suelos? Aproximación a una valoración económica de la pérdida de suelos agrícolas en México. *Investigación ambiental Ciencia y política pública*, 3(2).
- Medina, J. F. 2007. Biofertilizantes microbianos: Tecnología para incrementar la productividad del maíz. *Reporte Anual de Investigación e Innovación Tecnología INIFAP 2007*, 1-2.
- Merino-Pérez, L., y Segura-Warnholtz G. 2007. Las políticas forestales y de conservación y sus impactos en las comunidades forestales en México. *Los bosques comunitarios de México. Manejo sustentable de paisajes forestales*, 21-49.
- Muñoz-Piña, C., Guevara A., Torres J. M., y Braña J. 2008. Paying for the hydrological services of Mexico's forests: Analysis, negotiations and results. *Ecological economics*, 65(4), 725-736.
- REMBIO. 2012. Producción de Biogás en México. Estado Actual y Perspectivas. Cuaderno Temático No5.
- Robinson, S., Burfisher M. E., Hinojosa-Ojeda R., y Thierfelder K. E. 1993. Agricultural policies and migration in a US-Mexico free trade area: A computable general equilibrium analysis. *Journal of Policy Modeling*, 15(5-6), 673-701.
- Rutherford, T., 1987. A Modeling System for Applied General Equilibrium Analysis. Report, Cowles Foundation for Research in Economics, Yale University, Connecticut, Mayo.
- Rutherford, T. F., 1999. Applied General Equilibrium Modeling with MPSGE as a GAMS Subsystem: An Overview of the Modeling Framework and Syntax. *Computational Economics* 14: 1-46.
- SAGARPA. 2014. Precios de Insumos Agrícolas. Recuperado por última vez el 3 de marzo de 2018, de Reporte Quincenal de Precios de Fertilizantes: <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Precios/Documents/Reportes%20Fertilizantes/1ra%20de%20Agosto%202014.pdf>
- SAGARPA. 2016a. Programa de Fomento a la Agricultura, Componente Agro-producción. Recuperado de: <http://www.gob.mx/sagarpa/acciones-y-programas/componente-agroproduccion>, acceso el 14 de diciembre de 2016.
- SAGARPA. 2016b. Programa de Fomento a la Agricultura, Componente de Tecnificación del Riego. Recuperado de: <http://www.gob.mx/sagarpa/acciones-y-programas/componente-de-tecnificacion-del-riego>, acceso el 14 de diciembre de 2016.
- SAGARPA. 2016c. Programa de Producción Pecuaria Sustentable y Ordenamiento Ganadero y Apícola (PROGAN). MEXICO. Recuperado de: <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Programas/Paginas/PROGRAM.aspx>, acceso el 14 de diciembre de 2016.
- SAGARPA. 2016d. Reglas de Operación 2016 del Programa de Producción Pecuaria Sustentable y Ordenamiento Ganadero y Apícola (PROGAN). MEXICO. Recuperado de: <http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/44530/Reglas-Operacion-2016-sagarpa.pdf>, acceso el 14 de diciembre de 2016.
- SAGARPA. 2016e. Programa de Fomento a la Agricultura, Componente de Innovación Agroalimentaria. Recuperado de: <http://www.gob.mx/sagarpa/acciones-y-programas/componente-de-innovacion-agroalimentaria>, acceso 14 de diciembre de 2016.
- Sánchez Cano, J. E. 2014. La política agrícola en México, impactos y retos. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 18(35).
- SEMARNAT. 2013. Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40. MEXICO. Recuperado de: [http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/06\\_otras/ENCC.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/06_otras/ENCC.pdf), acceso 14 de diciembre 2016.
- SEMARNAT, INECC. 2012. Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- Shoven, J.B., y Whalley J. 1984. Applied General-Equilibrium Models of Taxation and International Trade: An Introduction and Survey, *Journal of Economic Literature* 23 (3): 1007-1051.
- Sobarzo, H. E. 1992. A general equilibrium analysis of the gains from trade for the Mexican economy of a North American Free Trade Agreement. *The World Economy*, 15(1), 83-100.
- Taylor, J. E., Dyer G. A., y Yúnez-Naude A. 2005. Disaggregated rural economywide models for policy analysis. *World development*, 33(10), 1671-1688.
- Taylor, J. E., Yúnez-Naude A., y Dyer G. 1999. Agricultural price policy, employment, and migration in a diversified rural economy: A village-town CGE analysis from Mexico. *American Journal of Agricultural Economics*, 81(3), 653-662.
- Taylor, J. E., Yúnez-Naude A., y Hampton S. 1999. Agricultural policy reforms and village economies: A computable general-equilibrium analysis from Mexico. *Journal of Policy Modeling*, 21(4), 453-480.
- Vera, I., Martínez J., Estrada M., y Ortiz A. 2014. Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: excretas de ganado bovino y porcino. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 15(3), 429-436.
- Yúnez-Naude, A. 2006. Liberalización y reformas al agro: lecciones de México. *Economía agraria y recursos naturales*, (12), 47-68.