

# Modelación regional y económica del uso de suelo, producción y commodities agropecuarios en Uruguay: Simulaciones de mediano y largo plazo

Felipe Bertamini López<sup>a</sup>

---

**RESUMEN:** El trabajo modeliza el sector agropecuario del Uruguay a escala regional, a través de un modelo de equilibrio parcial del uso de la tierra. Una vez construido, se establece una línea de base, con un horizonte temporal de 10 años para emitir proyecciones del uso del suelo y la producción. También puede ser utilizado de modo contrafactual en el análisis y la evaluación de posibles intervenciones de políticas o cambios en el mercado. En Uruguay existen pocos trabajos de modelización del sector y no existen proyecciones por regiones que puedan distinguir la heterogeneidad de la producción agropecuaria.

---

## Regional and economic modeling of land use, production, and agricultural commodities in Uruguay: Medium and long-term simulations

---

**ABSTRACT:** The study models Uruguay's agricultural sector at a regional scale through a partial equilibrium model of land use. Once built, a baseline is established with a 10-year time horizon to produce projections of land use and production. It can also be used in a counterfactual manner for the analysis and evaluation of potential policy interventions or market changes. In Uruguay, there are few modeling studies of the sector, and there are no regional projections that capture the heterogeneity of agricultural production.

---

**PALABRAS CLAVE / KEYWORDS:** Modelización, sector agropecuario, regionalización, tierra, producción, proyecciones / Modeling, agricultural sector, regionalization, land, production, projections.

---

**Clasificación JEL / JEL classification:** Q10, Q15, Q24, R11, O13.

---

**DOI:** <https://doi.org/10.7201/earn.2025.02.05>

---

---

<sup>a</sup> Investigador agropecuario. E-mail: [sfbertamini@gmail.com](mailto:sfbertamini@gmail.com)

*Citar como:* Bertamini, F. (2025). "Modelación regional y económica del uso de suelo, producción y commodities agropecuarios en Uruguay: Simulaciones de mediano y largo plazo". *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 25(2), 105-133. <https://doi.org/10.7201/earn.2025.02.05>

*Dirigir correspondencia a:* Felipe Bertamini López.

Recibido en agosto de 2024. Aceptado en abril de 2025.

## 1. Introducción

La modelación del sector agropecuario es una herramienta muy usada para el análisis de los impactos de cambios de políticas y de la economía o el ambiente productivo sobre un conjunto de variables económicas, sociales y ambientales como se puede observar en trabajos de Dissanayake (2022), en Binfield *et al.* (2021), en Dumortier *et al.* (2021) y en Vinca (2021), entre otros. Las capacidades para realizar análisis *ex ante* y proyecciones de mediano y largo plazo del sector son fundamentales, y en particular en un contexto donde la escasez de recursos se hace cada vez más notoria en relación al crecimiento de la demanda, derivado entre otros por aumentos en los ingresos de la población, y las presiones para que el sector contribuya a la mitigación del cambio climático. Específicamente, este trabajo se enfoca en un modelo de equilibrio parcial de simulación del sector de forma regional (sub-nacional) en Uruguay, que consiste en la representación de los principales aspectos de los mercados agropecuarios a través de un amplio conjunto de ecuaciones interconectadas. El modelo que se considera aquí tiene una cobertura por nivel de actividad, por región y por año.

Por citar algunos de los modelos de extendido uso y gran aceptación en la literatura se puede encontrar; el desarrollado por el Instituto de Investigación sobre Políticas Alimentarias y Agrícolas (FAPRI), el modelo Simulación de Equilibrio Parcial de Comercio Agrícola (PEATSim, por sus siglas en inglés), el modelo de simulación terrestre para armonizar e integrar la disponibilidad de agua al medio ambiente (Land Simulation to Harmonize and Integrate Freshwater Availability and the Terrestrial Environment, LandSHIFT), el desarrollado por el Centro para el Desarrollo Rural y de la Agricultura (CARD) y el modelo IMPACT del Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Agroalimentarias (IFPRI, por sus sigla en inglés). Otro trabajo de equilibrio parcial y que representa los principales sectores en el uso de la tierra, incluido la agricultura y la silvicultura, es el modelo de Gestión de la Biosfera Global (GLOBIOM) que es desarrollado y utilizado por el Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA) desde finales de los 2000. En paralelo, coexisten otros modelos de equilibrio, aunque de carácter general y computable. Entre estos se destacan el Global Trade Analysis Project (GTAP) y el “Modeling international relationships in applied general equilibrium (MIRAGE)” elaborado por el Centre d’Etudes et d’Informations Internacional (CEPII).

Un análisis como el planteado permite asistir en el diseño de políticas públicas e intervenciones, y anticipar evoluciones o reacciones del sector productivo frente a modificaciones en el escenario local o internacional de políticas, ajustes macroeconómicos, conflictos, guerras comerciales, crisis sanitarias o aspectos ambientales, entre otras posibilidades.

En los países de la región se destaca el uso de estos modelos para el análisis del sector agropecuario, como por ejemplo en Argentina a través del Ministerio de la Producción de Argentina en la Dirección de Estudios Económicos y en la Fundación

Instituto para las Negociaciones Internacionales de Argentina (INAI). En el caso de Brasil, el Instituto de Estudios del Comercio y Negociaciones Internacionales (ICONE, y desde 2013 Agroicone), desarrolló y mantiene un modelo para el análisis de la realidad agropecuaria de ese país. También en Brasil, se ha desarrollado el modelo de evaluación de políticas ambientales llamado “Globiam-Brazil”.

Independientemente de las razones, Uruguay cuenta con pocos y aislados trabajos sobre la modelización económica del sector agropecuario en su conjunto y con una cobertura a nivel nacional. Trabajos iniciales en este sentido pueden encontrarse en Carriquiry & Rosas (2018), en Bertamini *et al.* (2019) y en Ackermann *et al.* (2021). Sin embargo, estos trabajos son de escala nacional y no logran diferenciar la producción agropecuaria por regiones. Asimismo, la mayoría de los trabajos de regionalización son de corte transversal y en algunos casos se pueden observar como series temporales, pero no existen proyecciones en ese sentido como pretende el trabajo. Un ejemplo es el trabajo de Bertamini *et al.* (2015), que es parte del Anuario de la Oficina de Programación y Política Agropecuaria (OPYPA) del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP). Otros documentos tienen que ver con los publicados por la Dirección de Estadísticas Agropecuarias (DIEA) del MGAP en los años 2004 y 2015 (DIEA, 2004; 2015).

## 2. Antecedentes

Abundan en la literatura trabajos de modelos de simulación que incluyen al sector agropecuario. El modelo FAPRI de la Universidad de Missouri (FAPRI-MU) ha realizado diversas actualizaciones en referencia a los mercados internacionales de lácteos, ganado y biocombustibles en contextos con importantes perturbaciones externas, a lo que se suma la propagación del coronavirus SARS-CoV-2 y su enfermedad asociada (Covid-19) (Binfield *et al.*, 2019; 2021). Por un lado, se observan los principales cambios en los mercados agrícolas mundiales como consecuencia, por ejemplo, de los eventos climáticos significativos de las sequías en la Unión Europea y en Australia, las disputas comerciales y la propagación de la peste porcina africana (PPA), y por otro, los mayores impactos globales en la historia reciente en los mercados agropecuarios debido a la propagación del SARS-CoV-2. PEATSim es otro modelo de uso extendido y desarrollado por el Servicio de Investigación Económica del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. El modelo LandSHIFT se puede observar en el trabajo de Schaldach *et al.* (2013) donde en Jordania simulan el impacto de la producción ganadera en la degradación de la tierra. El trabajo de Dumortier *et al.* (2021) estima los efectos del cambio climático en la producción agrícola mundial a través del modelo CARD. En particular, cuantifica y proyecta los cambios en los mercados agrícolas mundiales de maíz, arroz, soja y trigo a partir de diferentes escenarios que incluyen cuatro vías de concentración representativas (RCP)<sup>1</sup> y cinco vías socioeconómicas compartidas (SSP)<sup>2</sup>. Diversos

<sup>1</sup> Por sus siglas en inglés, Representative Concentration Pathways.

<sup>2</sup> Por sus siglas en inglés, Shared Socioeconomic Pathways.

trabajos se pueden encontrar en la literatura relacionada a estos conceptos. Por ejemplo, en Vinca (2021), el autor revisa los modelos multiescala de clima, tierra, energía y agua y propone un marco para la evaluación cuantitativa de políticas multisectoriales para brindar soluciones integradas de los cuatro componentes del sistema. El trabajo de Rosegrant *et al.* (2022) a través del modelo IMPACT, analiza la brecha de inversión agrícola que existe para cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para el hambre y la mitigación del cambio climático.

A nivel de la región, existen varias instituciones que llevan adelante la modelización del sector agropecuario. En Argentina, a través del INAI, se puede encontrar el modelo de equilibrio parcial llamado “Escenario de Referencia Agroindustrial Mundial y Argentino (ERAMA)”. Se modeliza el sector agropecuario de Argentina y se representa una visión de largo plazo para los niveles de precios, producción, consumo y comercio en Argentina y el mundo. La principal herramienta para la construcción del escenario de referencia es el modelo PEATSim-AR. Este último es consecuencia del modelo PEATSim que después de varios años de trabajo fue cambiado y mejorado, para incorporar las necesidades específicas de Argentina. En Brasil también se pueden encontrar trabajos referidos a la modelización del sector agropecuario. A través de Agroicone, se puede observar el modelo Brazilian Land Use Model (BLUM). Se trata de un modelo multirregional, de equilibrio parcial y del uso del suelo en Brasil. Incluye diversas actividades y productos como la soja, el maíz, el algodón, el arroz, los frijoles, la caña de azúcar, el trigo, la cebada, los lácteos, la carne de res, los pollos de engorde, los huevos y la carne de cerdo. En los trabajos de De Gouvello (2010), Nassar *et al.* (2011) y también en Nassar *et al.* (2012) se pueden observar el uso de la herramienta. En el primer trabajo, se cuantifica las menores emisiones nacionales y mundiales de los gases de efecto invernadero como consecuencia de la reducción en la deforestación y en las actividades directas que generan contaminantes, en el segundo, se realiza una simulación del uso de la tierra y de la expansión de la agricultura en Brasil. Finalmente, en el tercer trabajo, se realizan proyecciones del sector de los agronegocios de Brasil al año 2022. Por su parte, el modelo de evaluación de políticas ambientales “Globiam-Brazil” fue desarrollado entre los años 2017 y 2022, a través de la alianza entre el Instituto Nacional de Investigación Espacial del Brasil (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE) y el IIASA.

En Uruguay, la inclusión explícita y el desarrollo de modelos de uso del suelo en el país es incipiente. Trabajos iniciales en este sentido pueden encontrarse en Carriquiry & Rosas (2018), en Bertamini *et al.* (2019) y en Ackermann *et al.* (2021). Los dos primeros trabajos fueron presentados en las Jornadas Académicas de la Facultad de Ciencias Económicas y de Administración, (FCEA) en los años 2018 y 2019<sup>3</sup>. Por su parte, el trabajo de Ackermann *et al.* (2021) utiliza un modelo de equilibrio general computable dinámico para estimar los efectos que tendría una política pública para erradicar la “bichera” tanto en indicadores macroeconómicos como sectoriales en

<sup>3</sup> Web: <http://fcea.edu.uy/jornadasacademicas/>

Uruguay. Estos modelos son de escala nacional y no distinguen la heterogeneidad que pueda existir en la producción agropecuaria debido a las diferentes aptitudes del suelo que tiene cada región del país. Trabajos que abordan esta última temática sobre la regionalización se pueden observar en el documento de Bertamini *et al.* (2015), que es parte del Anuario de la OPYPA del MGAP. Presenta una clasificación de las regiones de especialización productiva del agro uruguayo de acuerdo con la estructura del valor bruto de la producción a nivel de las áreas de enumeración del Censo General Agropecuario 2011. Se estima el valor de la producción de siete grupos de actividades coincidentes con los rubros principales del sector agropecuario. Otros estudios tienen que ver con los publicados por la Dirección de Estadísticas Agropecuarias (DIEA) del MGAP (DIEA, 2004; 2015)<sup>4</sup>. Sin embargo, en estos trabajos no se pueden observar series temporales ni tampoco proyecciones como pretende el trabajo.

El análisis planteado permite asistir en el diseño de políticas públicas e intervenciones, y anticipar evoluciones o reacciones del sector productivo frente a modificaciones en el escenario local o internacional de naturaleza por ejemplo políticas (ajustes macroeconómicos, conflictos bélicos, guerras comerciales, o políticas de bioenergía de alta demanda de commodities), crisis sanitarias (Covid-19, fiebre porcina africana), o ambientales (cambio climático, deterioros en la calidad y/o cantidad de agua), entre otras posibilidades. En este sentido, es necesario contar con herramientas que permitan operacionalizar marcos conceptuales bien desarrollados de oferta y demanda, capturando en forma adecuada las interacciones, interdependencias y retroalimentaciones que ocurren en la producción y mercados de productos agropecuarios. Como se mencionó, Uruguay cuenta con pocos trabajos sobre la modelización económica del sector agropecuario en su conjunto y más aún de forma regional. Un mayor desarrollo a nivel local permitiría generar capacidades, además de contribuir a la realización de proyecciones para un determinado periodo, generando trayectorias de un conjunto de variables de interés del sector (Outlook).

### 3. Materiales y Métodos

#### 3.1. Obtención de la información

La información estadística necesaria para calibrar el modelo proviene de una serie de fuentes, que incluyen el MGAP, los Censos Agropecuarios, los indicadores de la Declaración Jurada División de Contralor de Semovientes (DICOSE), el Sistema Nacional de Información Ganadera (SNIG), el Instituto Nacional de Carnes (INAC) y el departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés). Los costos de los cultivos fueron extraídos de la Unión Rural de Flores (URF) y de SOFOVAL<sup>5</sup>, mientras que los costos de la ganadería de carne y leche

<sup>4</sup> Se puede observar diferentes trabajos que, a diferencia del anterior y a partir del uso de la tierra, identifican diferentes regiones agropecuarias según su principal actividad productiva.

<sup>5</sup> Web: <http://www.sofoval.com/>

son del Plan Agropecuario (Carpetas Verdes) y del Instituto Nacional de la leche (INALE) respectivamente.

Las elasticidades que se utilizaron surgen de una combinación de revisión bibliográfica, calibración en base a datos históricos, y estimaciones propias, al ser un modelo intensivo en el uso elasticidades tanto por el lado de la oferta como de la demanda.

Los precios internacionales de los productos básicos para el período proyectado se obtienen de la Oficina para la Cooperación y el Desarrollo Económico y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (OCDE-FAO). Estos precios, conjuntamente con el escenario macro considerado por el USDA, son los drivers del modelo<sup>6</sup>.

### *3.2. Descripción del modelo*

El modelo desarrollado es de equilibrio parcial, determinístico y con una resolución espacial a nivel regional de Uruguay. Podría, asimismo, concebirse como un sistema de modelos que interaccionan entre sí, donde cada actividad agropecuaria posee su propio modelo con sus respectivas ecuaciones y parámetros. En cuanto a la escala temporal, las proyecciones de las variables de interés serán hechas de forma anual y para un período de 10 años partiendo del 2022. Las proyecciones (Outlook) tienen que ver con un conjunto de variables de interés por regiones, teniendo como las principales variables las áreas destinadas a cada rubro, rendimientos (o productividad), producción, exportaciones, consumo doméstico y stocks. La estrategia consiste en la representación y regionalización de los principales aspectos de los mercados agropecuarios más relevantes en Uruguay. Captar y analizar los factores externos al sector agropecuario nacional, incluyendo la evolución del clima, las variables macroeconómicas, los precios internacionales, y las políticas tanto nacionales como internacionales a través de la modelación económica del sector agropecuario, con especial atención a los determinantes del uso del suelo. El factor tierra es concebido como un elemento integrador de los rubros que se representan y constituye un elemento central de sus interacciones. Los sectores modelados son los principales usuarios de recursos naturales de Uruguay. En 2022, los cultivos y sus subproductos representaron el 9 % del uso de la tierra, la ganadería y sus pasturas asociadas el 85 % y la forestación medida a través de los montes artificiales el 6 % restante.

### *3.3. Regionalización del sector*

En base a las actividades económicas departamentales, el uso del suelo y la información disponible, se definieron cuatro regiones: centro sur (Florida, San José, Montevideo, Canelones y Durazno); este (Cerro Largo, Treinta y Tres, Lavalleja, Rocha y Maldonado); norte (Artigas, Rivera, Tacuarembó, Salto, Paysandú); y

<sup>6</sup> En: [https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/world-prices\\_49918c12-en](https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/world-prices_49918c12-en)

oeste (Río Negro, Soriano, Colonia, Flores). Según los indicadores del Observatorio Territorio Uruguay<sup>7</sup> de la Oficina de Planeamiento y Presupuesto (OPP) para el año 2018, las regiones definidas tienen una participación regional en la actividad económica y productiva nacional del 11 % y el 15 % del producto interno bruto (PIB) nacional (sin considerar Montevideo).

La región centro sur y sin Montevideo, tiene una participación en el PIB nacional del 15 %. En Canelones se observan actividades primarias con una amplia variedad de industrias exportadoras relacionadas a los productos agropecuarios. En Florida y Durazno existe un fuerte desarrollo en actividades relacionadas a la producción bovina, productos lácteos, soja y lana. En Durazno, el proyecto UPM2<sup>8</sup> en pueblo Centenario promoverá el desarrollo local y de la región. San José, por su parte, se muestra como una de las economías con mayor cantidad de especializaciones sectoriales relativas. La región este presenta una participación en la actividad económica y productiva del 12,3 % a nivel nacional en 2018 según datos de la OPP. Destacan las cadenas vacuna y arroceras en Cerro Largo, Lavalleja, Rocha y Treinta y Tres. La participación económica de la región norte en el PIB nacional fue del 11 % en el año 2018. Las actividades de mayor importancia son: la ganadería vacuna y lanar, el arroz y las explotaciones de minerales principalmente en Artigas y Rivera. En Salto se observan actividades vinculadas a los cítricos y a los arándanos, además de la lechería, cerdos y arroz. La industria frigorífica se encuentra presente en Tacuarembó, Salto y Paysandú. Asimismo, se destaca el importante desarrollo de la cadena forestal maderera en los últimos años sobre todo en Rivera y Tacuarembó. En Paysandú, también se encuentran importantes empresas relacionadas con los lácteos, los cítricos, el complejo forestal, los textiles, la industria cervecera y maltera, la industria azucarera y las curtiembres. Finalmente, la región oeste tiene un peso del 10,5 % en el PIB en 2018. Cuenta con un conjunto de sectores que tienen arrastre sobre la economía regional, como: la agricultura de secano, la ganadería, la lechería, la apicultura, los servicios al agro, la forestación, el sector de transporte y logística. El sector industrial es muy importante debido a la presencia en Fray Bentos de la planta de producción de pasta de celulosa de UPM y a Montes del Plata en Punta Pereira, próximo a Conchillas en el departamento de Colonia. Existe un flujo exportable de suma importancia desde las Zonas Francas, donde se exporta celulosa, concentrado de bebidas, soja y carne.

### 3.4. Asignación de la tierra

La especificación de las ecuaciones que determinan el uso del suelo y la producción siguen el trabajo de Carriquiry & Rosas (2018) y de Bertamini *et al.* (2019), aunque tratando cada región de manera separada. Partiendo de una región, su área se asigna entre un uso agropecuario y no agropecuario, lo que denominamos nivel 1. El área dedicada a las actividades agropecuarias  $A_t^{ag}$  en cada año  $t$ , del total

<sup>7</sup> Web: [https://otu.opp.gub.uy/filtros/buscar\\_indicadores](https://otu.opp.gub.uy/filtros/buscar_indicadores)

<sup>8</sup> Corresponde a la segunda planta de celulosa de UPM-Kymmene en Uruguay.

de la región, se determina en función de los retornos esperados de las actividades involucradas (de los cultivos, el área de pasturas y la forestación). La ecuación para este primer paso será:

$$A_t^{ag} = A^T m_{ag}(r_t) \quad [1]$$

Donde  $A^T$  es el área total de la región, y  $m_{ag}$  representa la proporción de esta a ser asignada a cultivos, pasturas, y forestación comercial (montes plantados). Los retornos esperados en el año  $t$  son representados por  $r_t$ . El resto de las tierras de la región, quedan en la rama de “área no agropecuaria”.

En el nivel 2, el área agropecuaria se distribuye en tres grandes actividades: el área de cultivos, las pasturas y la forestación comercial. El área de pasturas (praderas artificiales, campo mejorado y fertilizado, cultivos forrajeros y campo natural), que es la base para la modelación de la ganadería de carne y leche, engloba tanto el área de pastizales naturales como el de pasturas implantadas o artificiales. La asignación de las tres actividades se captura en la siguiente ecuación:

$$A_t^k = A_t^{ag} d_k(r_{kt}, r_{-kt}) \quad [2]$$

Donde:

$A_t^k$  área dedicada a la actividad  $k$  y en el año  $t$ .

$d_k(\cdot)$  representa la proporción del área agropecuaria dedicada a las actividades.

$r_{kt}$  son los retornos esperados de esa actividad  $k$ , y  $r_{-kt}$  son los retornos esperados de las otras actividades diferentes de  $k$  en el mismo año  $t$ .

Finalmente, el área de cultivos para la región se asigna en el nivel 3 entre los distintos usos, como: soja, trigo, maíz, sorgo, cebada y arroz. El área dedicada a un cultivo  $i$  es:

$$A_t^i = A_t^k d_i(r_{it}, r_{-it}) v_{it} \quad [3]$$

Donde:

$A_t^i$  área dedicada al cultivo  $i$  y en el año  $t$ .

$d_i(\cdot)$  representa la proporción del área de los cultivos dedicada a la soja, maíz, etc.

$r_{it}$  son los retornos esperados del cultivo  $i$ , y  $r_{-it}$  son los retornos esperados de los otros cultivos (diferentes de  $i$ ) pero en el mismo año  $t$ .

$v_{it}$  es la proporción del total del área de cultivos de la región siguiendo la metodología de Holt (1999)<sup>9</sup>.

### 3.5. Actividades modeladas

Se modela el funcionamiento para cada una de las actividades a través de la oferta regional y la demanda doméstica. Las ecuaciones que representan las funciones de oferta y demanda serán definidas y relacionadas de manera consistente con la teoría económica. La producción de cada commodity se modelará a escala regional y la producción del país es la suma de la producción de cada región. En cambio, la demanda se incluye para el país en su conjunto.

Comenzando por los cultivos, en su oferta doméstica, existe una ecuación de comportamiento del área que es función de los retornos esperados del propio cultivo, de los retornos esperados de los cultivos con los que compite por área (o efecto sustitución), y de los retornos esperados de la agricultura (tal que, si estos aumentan respecto a la ganadería o la forestación, mayor área será dedicada a cultivos (efecto escala)). Asimismo, existe una ecuación de comportamiento de los rendimientos que depende de una tendencia lineal. Finalmente, la oferta doméstica se cierra con los stocks iniciales. Por el lado de la demanda, esta se asigna a una doméstica de alimentos para consumo humano, otra forrajera para alimento animal, y la demanda por exportaciones netas. La ecuación se completa con los stocks finales. Cada una de estas demandas depende negativamente del propio precio y positivamente de los precios de los cultivos cerealeros sustitutos.

La ganadería de carne vacuna cuenta con una oferta doméstica determinada por un stock de ganado vacuno que se distribuye en dos categorías, las vacas de cría y el resto. Para cada una de las categorías se mantiene la contabilidad del stock. Este stock depende de los animales en periodos anteriores y del área de pasturas. Asimismo, se reduce por las vacas enviadas a faena, las exportaciones de ganado en pie, y las muertes. Similar comportamiento se asume para el resto de los vacunos donde se incluye a los terneros de acuerdo a una tasa de procreo. La producción surge de la faena proveniente del stock (novillos, terneros, vacas y toros). Cada una de estas cuenta con su ecuación de comportamiento que depende de los retornos esperados de la actividad ganadera y también positivamente del tamaño del stock. La tasa de procreo responde a una ecuación de comportamiento que depende de los retornos esperados de la ganadería y de una tendencia. Asimismo, los stocks finales de vacas de cría dependen de los retornos de la ganadería y del área dedicada a la ganadería.

<sup>9</sup> La asignación de la tierra es lineal y con diferentes usos, en función de los retornos esperados.

Por el lado de la demanda, la ecuación de demanda depende del ingreso real per cápita, del precio propio, del precio de carnes sustitutas (cerdos y aves), y de una tendencia.

La ganadería de carne ovina se modela de forma similar a la vacuna, tanto del lado de la oferta como de la demanda.

La producción de lácteos está determinada por un inventario de vacas lecheras y la producción de leche por vaca. El stock de vacas lecheras (conformado por vacas en ordeño y vacas secas) depende de los retornos esperados de la actividad, del inventario, y de una tendencia. Similarmente, la productividad por vaca depende de los retornos de la actividad y de una tendencia. La demanda se compone por la del predio, la fluida de consumo interno, y una demanda doméstica de leche para industria (procesamientos de productos lácteos). Todas dependen negativamente del precio de la leche, y las dos últimas dependen positivamente del ingreso real per cápita. Existe también un inventario final de leche (en productos industrializados) que depende negativamente de su precio.

La producción forestal está definida por su área, el crecimiento de los bosques, el rendimiento productivo y la extracción de madera. Asimismo, la productividad por metro cuadrado de hectárea depende del retorno de la propia actividad. La demanda se compone por diferentes usos de la madera tanto al mercado interno como externo, siendo los principales rubros la madera para pulpa (rolliza y chips), las trozas de aserrío y para chapas, los combustibles de madera (incluye madera para producir carbón) y otra madera en rollo industrial. Todas dependen negativamente del precio de la madera.

Para las actividades modeladas, las exportaciones netas, (en caso de que existan) garantizan que el saldo exportable balancee este mercado. Es decir, esta estructura así definida garantiza que la oferta regional y su suma total sea igual a la demanda para cada año y commodity considerado (Kim *et al.*, 2011).

### 3.6. Parametrización

La oferta de los commodities depende de las elasticidades de respuesta del área de uso y de los retornos esperados de cada actividad y por región; lo que se denominó nivel 2 y nivel 3. Dado que la asignación del subtotal de área entre las diferentes actividades en cada nivel es un proceso “simultáneo”, es necesario que dichas elasticidades sean consistentes. Los valores de elasticidades de asignación de tierra agropecuaria y las actividades (nivel 2) varían de acuerdo a la región y se observan en el Cuadro 1.

CUADRO 1

Intervalo de elasticidades usadas en el nivel 2

Actividades	Cultivos	Forestación	Pasturas
Cultivos	(0; 0,2)	(-0,05; 0)	(-0,15; 0)
Forestación	(-0,05; 0)	(0; 0,05)	(-0,05; 0)
Pasturas	(-0,15; 0)	(-0,05; 0)	(0; 0,2)

Fuente: Elaboración propia en base a: USDA, ERS/PENN y datos estimados.

La elasticidad de respuesta del área de cada cultivo a sus retornos esperados y al de los cultivos competitivos (nivel 3), se basa en Holt (1999). El área de cada cultivo modelado  $i$  en el período  $t$ , se expresa como proporción del total del área de cultivos, lo que denotamos como  $v_{it}$ , y es función lineal de los retornos esperados en  $t$  de los  $i$  cultivos ( $r_{it}^e$ ) modelados, de una constante  $b_i$ , y un término de error  $\mu_i$  que resume los factores no observables:

$$v_{it} = b_i + \sum_{j=1}^J s_{ij} \times r_{it}^e + \mu_i \tag{4}$$

Donde:  $s_{ij}$  son coeficientes, y los retornos esperados surgen de  $r_{it}^e = E(p_{it}^e y_{it}^e) / c_{it}$ , o sea el producto de precios y rendimientos esperados de cada cultivo en  $t$  dividido por los respectivos costos. Los parámetros  $s_{ij}$  y  $b_i$  cumplen las propiedades de simetría y homogeneidad. El vector de errores ( $\mu_i$ ) tiene una distribución normal.

Los valores de elasticidades de asignación de tierra incorporadas al modelo por regiones (Nivel 3) se observan en el Cuadro 2.

CUADRO 2

Intervalo de elasticidades usadas en el nivel 3

Cultivos	Soja	Arroz	Maíz	Sorgo	Trigo	Cebada
Soja	(0; 0,03)	(-0,14; 0)	(-0,35; 0)	(-0,35; 0)	(-0,07; 0)	(-0,04; 0)
Arroz	(-0,55; 0)	(0; 0,065)	(-0,02; 0)	(-0,02; 0)	(-0,02; 0)	(-0,3; 0)
Maíz	(-3,35; 0)	(-0,05; 0)	(0; 0,6)	(-0,3; 0)	(-0,05; 0)	(-0,05; 0)
Sorgo	(-7,86; 0)	(-0,12; 0)	(-0,7; 0)	(0; 0,15)	(-0,05; 0)	(-0,05; 0)
Trigo	(-0,25; 0)	(-0,05; 0)	(-0,03; 0)	(-0,04; 0)	(0; 0,09)	(-0,15; 0)
Cebada	(-0,9; 0)	(-1,55; 0)	(-0,1; 0)	(-0,04; 0)	(-0,75; 0)	(-0,04; 0)

Fuente: Elaboración propia en base a: USDA, ERS/PENN y datos estimados.

### 3.7. Supuestos y variables exógenas

Como cualquier modelo que busca una representación de un sector, se definen una serie de supuestos y variables exógenas. Al ser una economía pequeña, se asume un comportamiento regional igual al nacional respecto a los impactos de los mercados relevantes de Uruguay, siendo la oferta regional y su sumatoria, la oferta a nivel país. Los sectores de actividad no modelados permanecen constantes y las variables que afectan el desempeño de las actividades, como, por ejemplo, el clima, las condiciones macroeconómicas, se encuentran en sus valores tendenciales. Asimismo, existe competencia entre sectores por el área agropecuaria y el modelo no representa casos en que existe complementariedad de actividades. Finalmente, la población de Uruguay, el PIB real per cápita, y el tipo de cambio nominal son variables exógenas del modelo y sus proyecciones son provistas por Economic Research Service (ERS) de la USDA.

## 4. Resultados

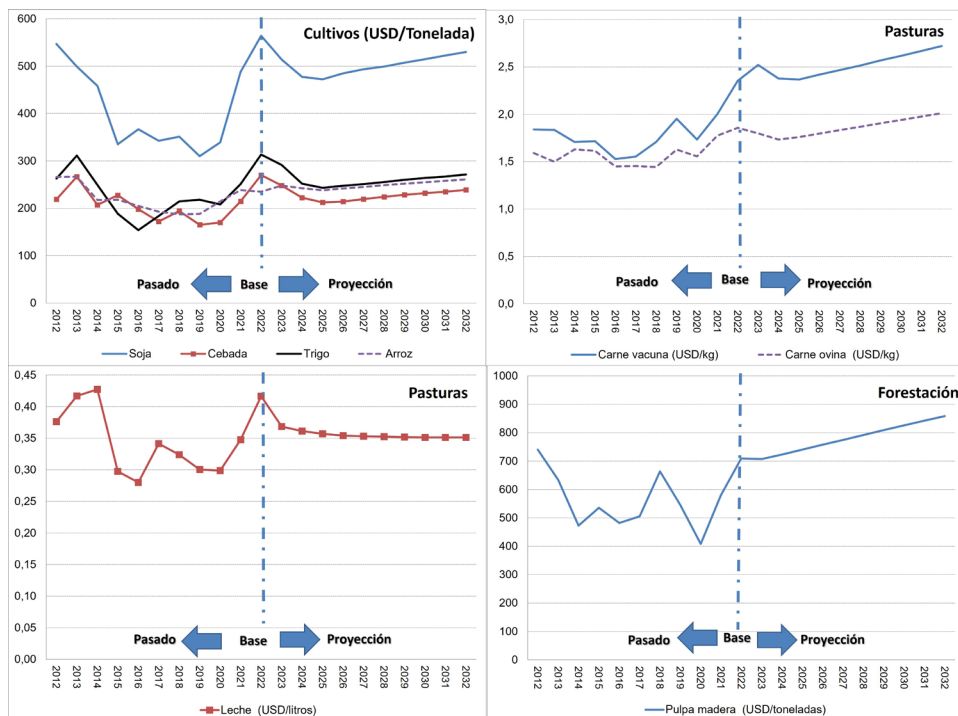
Dada la estructura asumida, las interrelaciones entre los mercados de commodities, la cobertura por rubros productivos y la parametrización, el modelo generó un conjunto de proyecciones de forma endógena por un período de 10 años a partir del año 2022. Las variables exógenas más los drivers y los precios proyectados son determinantes en los resultados de la asignación de tierras, producción y comercio. Las variables extraídas del modelo de ERS-USDA (2022-2032)<sup>10</sup> establecen que entre 2022 y 2032 la población en Uruguay crecerá de 3,39 a 3,44 millones de personas, el PIB real per cápita de 17.213 a 21.725 dólares, y el tipo de cambio nominal de 41,2 a 61,5 pesos uruguayos por un dólar estadounidense. Los precios internacionales (2023-2032) y las proyecciones más recientes se pueden ver en el Gráfico 1.

Observamos una contracción de los precios de la soja, cebada y trigo para los primeros años respecto a 2022 del orden 8 % anual. El arroz es el único cultivo donde se incrementa en 2023 un 5,5 % anual, aunque en los años posteriores cae un 2,2 % y 1,8 % respecto a 2023 y 2024. En los próximos 10 años, si bien hay una tendencia creciente en los precios de los cultivos, no se alcanzan los valores nominales de 2022 a excepción del arroz donde crece un 1,1 % promedio anual. Los precios de la carne vacuna y ovina se contraen los primeros años y luego crecen durante todo el período, es decir, entre el escenario base y el año 2032. En 2022, el precio de la leche en el tambo fue de 0,42 dólares por litro. Para 2023, se observa una caída que se mantiene en el tiempo, alcanzando un valor de los 0,35 dólares en 2032. En el caso de la forestación, se tomó como referencia el precio de la pulpa de madera exportada a la Unión Europea y China por ser los principales mercados. Se observa una tendencia positiva en el periodo proyectado e inclusive si se toman los últimos 20 años.

<sup>10</sup> Link: <https://www.ers.usda.gov/data-products/international-macroeconomic-data-set/>

### GRÁFICO 1

#### Precios internacionales de los principales productos



Fuente: Elaboración propia en base a OCDE-FAO.

El área nacional dedicada al sector agropecuario (cultivos, pasturas y forestación) se mantiene prácticamente constante en el período de proyección, en el entorno de los 16 millones de hectáreas. Los cultivos y en particular soja, sorgo, maíz, cebada, trigo y arroz tienen una ganancia absoluta de área de 89 mil hectáreas y con un crecimiento promedio anual del 0,58 % entre los años 2022 y 2032 (ver Cuadro 3). La región centro sur será donde se registre el mayor crecimiento con un valor promedio anual del 1,03 %.

Las pasturas, en cambio, pierden participación en el uso de la tierra, pasando de representar el 85 % en 2022 al 84 % en 2032, esto es, de 13,6 a 13,4 millones de hectáreas. La región oeste, será la que presente la mayor caída en superficie del orden del 0,33 % destacándose la importancia que tiene el engorde del ganado en corral en esa zona del país.

La actividad de la forestación al igual que los cultivos y a diferencia de la ganadería presenta una tasa de crecimiento del 1,09 % como se observa en la Cuadro 3, alcanzando en 2032 más del millón de hectáreas y una ganancia de área de 100 mil hectáreas. La disminución de los retornos de la ganadería relativo a los cultivos y forestación, son los causantes de este comportamiento, como se aprecia parcialmente en el Gráfico 2. La región norte y centro sur presentan los mejores resultados, con un crecimiento del 1,28 % y 1,11 % respectivamente entre los años 2022 y 2032. El ferrocarril central que conecta el puerto de Montevideo con Tacuarembó traerá un nuevo beneficio económico para las cargas en ese nuevo corredor logístico. También brindará oportunidades en el área productiva y uso del suelo del país y en especial en las actividades de los cultivos y la forestación.

Dentro del área dedicada a los cultivos, la soja, la cebada, el trigo y el arroz son los que tienen el mayor peso con el 93 % del área total en 2022. La soja es y será el principal cultivo para los próximos años, siendo el centro sur la zona con mayor crecimiento (2,29 %). En los otros cultivos se observan contracciones en el área de uso a nivel nacional y también por departamentos a excepción del trigo en la zona este del país. Justamente en esa última zona, si bien hay un crecimiento del 8,7 % entre el año 2022 y el 2032, el crecimiento en términos absolutos es marginal y de 2 mil hectáreas más.

### CUADRO 3

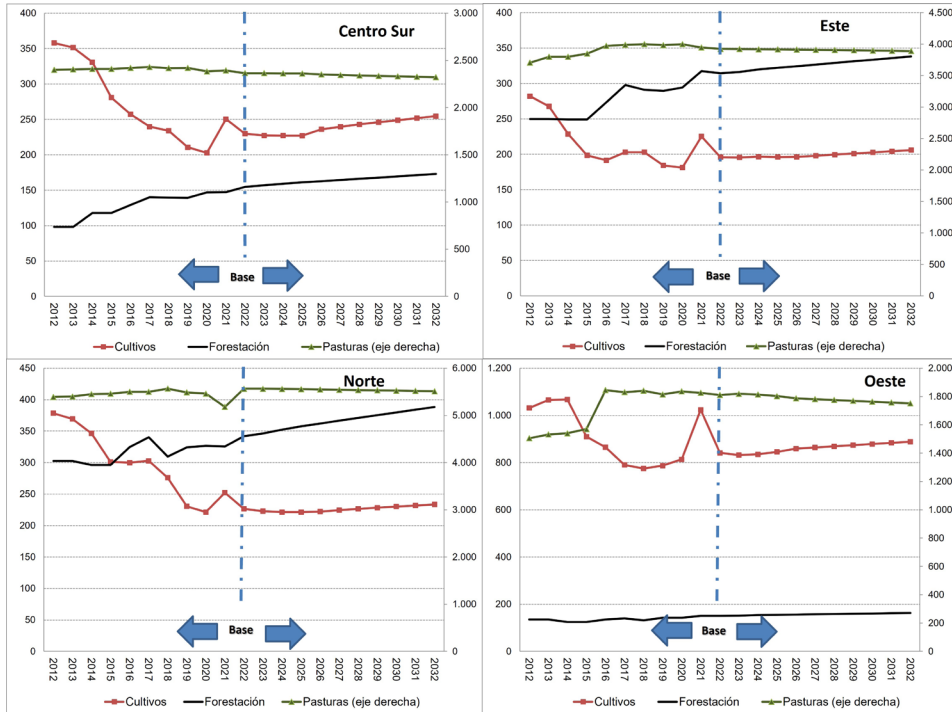
#### Área de actividades: tasas de variaciones. En porcentaje

Regiones	Cultivos	Pasturas	Forestación
Centro sur	1,03	-0,18	1,11
Este	0,51	-0,09	0,73
Norte	0,31	-0,10	1,28
Oeste	0,54	-0,33	0,80
<b>Total</b>	<b>0,58</b>	<b>-0,14</b>	<b>1,09</b>

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 2

Áreas de uso por regiones. En miles de hectáreas



Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 4

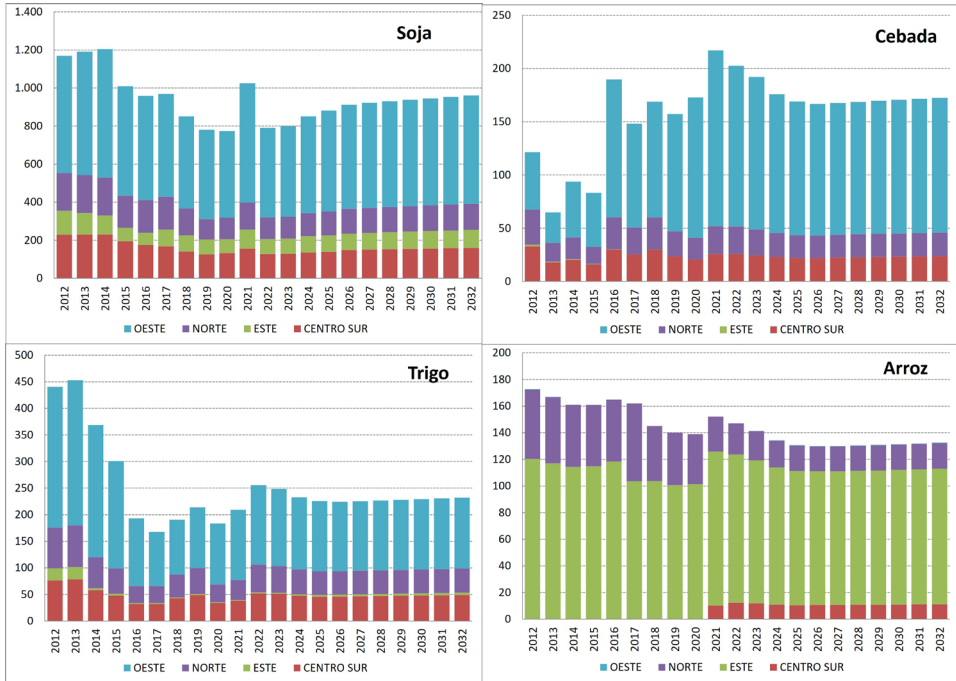
Cultivos: tasas de variaciones. En porcentaje

Regiones	Soja	Cebada	Trigo	Arroz
Centro sur	2,29	-0,80	-0,65	-1,03
Este	1,87	-	8,71	-0,87
Norte	1,91	-1,52	-1,35	-1,96
Oeste	1,91	-1,77	-1,10	-
<b>Total</b>	<b>1,97</b>	<b>-1,61</b>	<b>-0,94</b>	<b>-1,04</b>

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 3

Áreas de uso del suelo dedicado a los cultivos. En miles de hectáreas



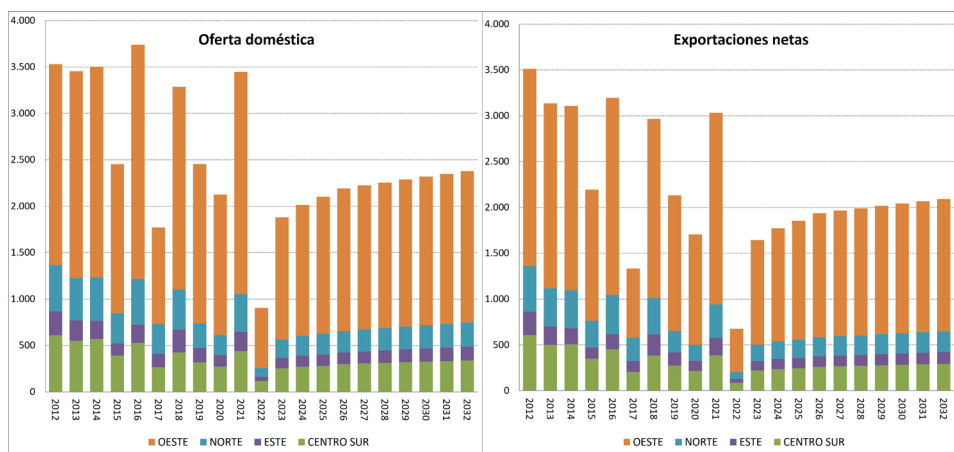
Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo con los cuatro principales cultivos, a continuación se describe la oferta doméstica y las exportaciones. Para el caso de soja, la oferta doméstica se espera que aumente de 0,9 a 2,37 millones de toneladas tanto por una mayor área como por un crecimiento en los rendimientos productivos. La oleaginosa puede sintetizarse a partir de la actividad que produce los granos oleaginosos y de la actividad industrial a través de la cual se elaboran aceites, harinas y subproductos. La cadena está constituida por los productores primarios, los industriales y los exportadores. En la fase primaria, el país registró cambios a nivel técnico, como la siembra directa y el uso de transgénicos y también importantes cambios organizativos, como el desdoblamiento del dueño de la tierra respecto del empresario agrícola, junto a la aparición de importantes incrementos en la participación de fondos de inversión, todo lo cual permitió la expansión del área agrícola aumentando su frontera tradicional. La evolución de mediano plazo muestra también cambios en la estructura agraria, observándose incrementos significativos en materia de concentración, asistiéndose a una baja en el número de productores. En Uruguay, aproximadamente el 93 % de la producción de soja se destina al mercado externo lo que deja un remanente cercano a

las 200 mil toneladas para industrializar en el mercado interno. La industrialización de oleaginosas en Uruguay se concentra en las firmas de COUSA<sup>11</sup> y Alcoholes del Uruguay (ALUR)<sup>12</sup>, esta última articulada con la anterior en una etapa industrial posterior. Ambas componen el subsector de primera industrialización. Por otro lado, existen pequeñas empresas industrializadoras de semillas oleaginosas con foco al mercado interno. En definitiva, se espera que el consumo doméstico crezca levemente o se mantenga y por lo tanto el incremento de la producción se traslade al saldo exportable, que pasa de 0,67 a poco más de 2 millones de toneladas.

### GRÁFICO 4

Soja: oferta y exportaciones (miles de toneladas)



Fuente: Elaboración propia.

En términos de valor, las exportaciones en la zafra 2021/2022 alcanzaron U\$S 1.922 millones como consecuencia tanto de la subida de precios internacionales como del volumen exportado. El precio de la soja aumentó durante 2022 derivado de la invasión de Rusia a Ucrania y también aumentó el volumen exportado dado que a China se sumó Argentina como destino de exportación (Uruguay XXI, 2022). La región oeste se mantendrá como la principal zona productora del país tanto en producción como en saldo exportable, con tasas de crecimiento entre los años 2022 y 2032, del 9,7 % y 11,9 % respectivamente.

Para la cebada, en cambio, se espera una contracción en su oferta domestica hasta el año 2026, donde alcanzaría las 908 mil toneladas. Posteriormente, se observa un crecimiento hasta el fin del periodo, aunque sin alcanzar los valores de la zafra

<sup>11</sup> Web: <http://www.cousa.com/>

<sup>12</sup> Web: <https://www.alur.com.uy/>

2021/2022. En 2022, la mayor área, junto con las condiciones climáticas favorables y precios que acompañaron, significaron una mayor producción que logró abastecer la industria con materia prima nacional. Los saldos exportables muestran un comportamiento similar a la oferta doméstica, una caída al comienzo del periodo proyectado y una recuperación hasta alcanzar las 100 mil toneladas en 2032.

En cuanto al trigo, la oferta doméstica crecerá de 1 a 1,1 millones de toneladas hacia el año 2032 por los mayores rendimientos por hectárea que son acompañados con mejores precios de colocación. Sin embargo, los saldos exportables se reducen entre los años 2022 y 2032, dado que aumenta un 3 % promedio anual el consumo doméstico. Por ejemplo, el consumo animal aumentará como consecuencia del incremento del stock animal y a la mayor demanda de otros sectores demandantes del grano. En Uruguay, el consumo interno se distribuye, tanto humano como animal. Los molinos de harina de trigo se encuentran en el medio de una cadena de trigo donde son demandantes del cereal en su fase primaria y oferentes al sector industrial de panaderías, galleterías y la industria de las pastas. El consumo de harina de trigo en Uruguay es de 280 mil toneladas y se reparte un 76 % para la industria de las panaderías, un 19 % entre las galleterías y pastas y el restante 5 % para la exportación.

En el caso del arroz y a nivel nacional, se espera una disminución del área hasta mediados del año 2027. Con posterioridad, los mejores precios de referencia, junto con los altos rendimientos por hectárea, hacen que tanto el área como la producción se recuperen, pero sin alcanzar los valores de 2023. Si bien captar los cambios a nivel de áreas es muy difícil, se podría decir y en términos generales que el rubro se sostiene por los altos niveles de productividad en un contexto de márgenes más estrechos. Uruguay está especializado en la variedad de arroz de grano largo y fino de alta calidad, con bajo porcentaje de quebrado y ha desarrollado una excelente reputación a nivel internacional, en base a la calidad de su producto. La constante introducción de tecnología de última generación en los diferentes procesos productivos le ha permitido alcanzar los rendimientos más altos en el mundo.

Asimismo, y dado que el consumo doméstico se reduce durante el período de proyección, el saldo exportable tiene un aumento en los próximos 10 años (0,45 %). En 2022, las exportaciones totalizaron los U\$S 501 millones, un 31 % por encima del valor registrado en 2021. México fue el principal destino seguido por Brasil.

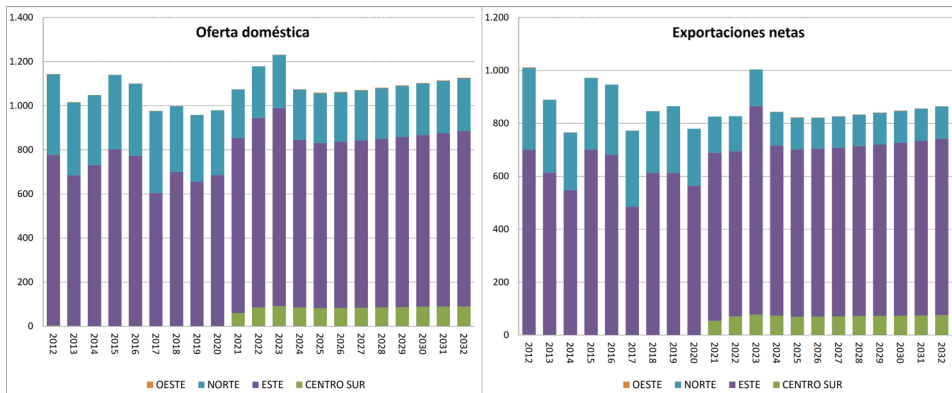
Si bien el área de pasturas dedicadas a la ganadería de carne y leche se mantiene como el principal uso del suelo agropecuario, presentan una tendencia decreciente a nivel nacional, pasando de 13,6 millones a 13,4 millones de hectáreas en 2032.

Al interior de la actividad ganadera, se observa que las pasturas con destino a la producción de carne presentan una leve caída del 0,01 %, en contraste con el sector de la lechería, donde existe una caída del 2,9 % entre los años 2022 y 2032. Por lo tanto, la menor área de uso en la ganadería se ve explicada por la baja en la lechería.

Por regiones y en la ganadería de carne, se observa un crecimiento en la zona este del país, aunque, en la lechera, esa región es la que presenta la mayor caída.

### GRÁFICO 5

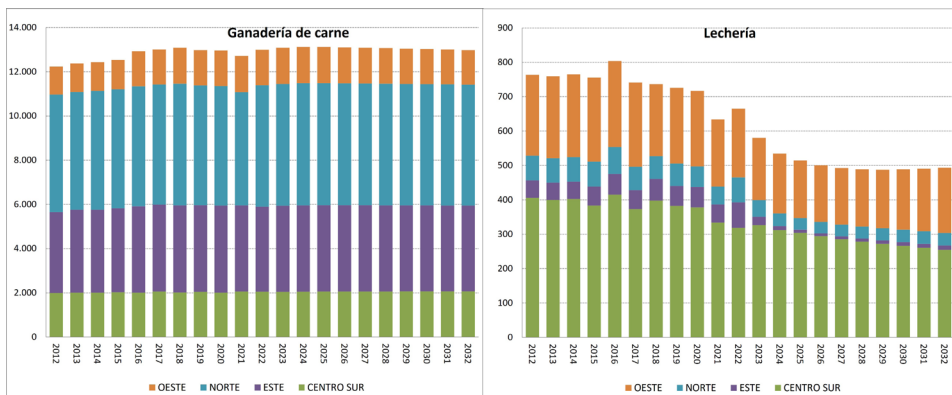
**Arroz: oferta y exportaciones. En miles de toneladas**



Fuente: Elaboración propia.

### GRÁFICO 6

**Área de uso de la ganadería. En miles de hectáreas**



Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 5

Área de la ganadería: tasas de variaciones. En porcentaje

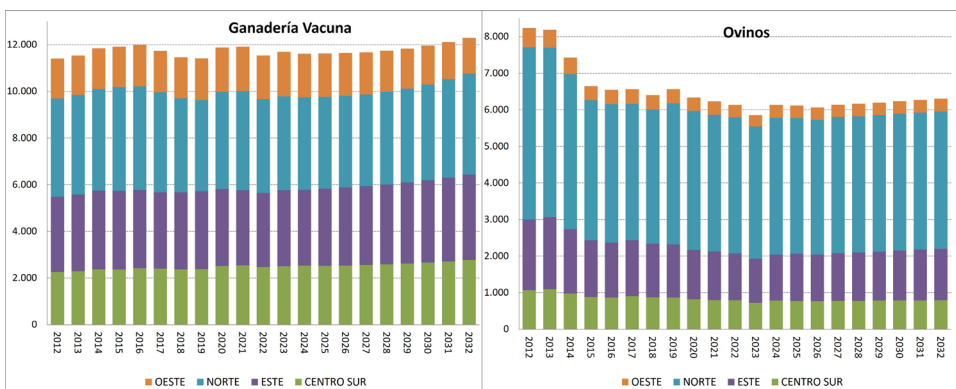
Regiones	Ganadería de carne	Lechería
Centro sur	0,10	-2,21
Este	0,07	-16,02
Norte	-0,03	-6,75
Oeste	-0,31	-0,51
<b>Total</b>	<b>-0,01</b>	<b>-2,9</b>

Fuente: Elaboración propia.

Se espera que el stock de ganado bovino de carne crezca durante el período de proyección de 11,5 a 12,13 millones de cabezas con un crecimiento del 0,64 % promedio anual. Esto se produce ya que la producción de terneros presenta una tendencia creciente (0,93 %) y la cantidad de animales faenados no sufre grandes cambios e inclusive muestra una caída del 0,03 %. Al igual que el ganado bovino, el rubro ovino presenta un aumento de 172 mil ovinos entre los años 2022 y 2032 como consecuencia del aumento de terneros y el menor número de animales faenados con tasas del 0,28 % y -0,24 %, respectivamente.

GRÁFICO 7

Stock de la ganadería de carne. En miles de animales



Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 6

Stock de vacunos y ovinos: tasas de variaciones. En porcentaje

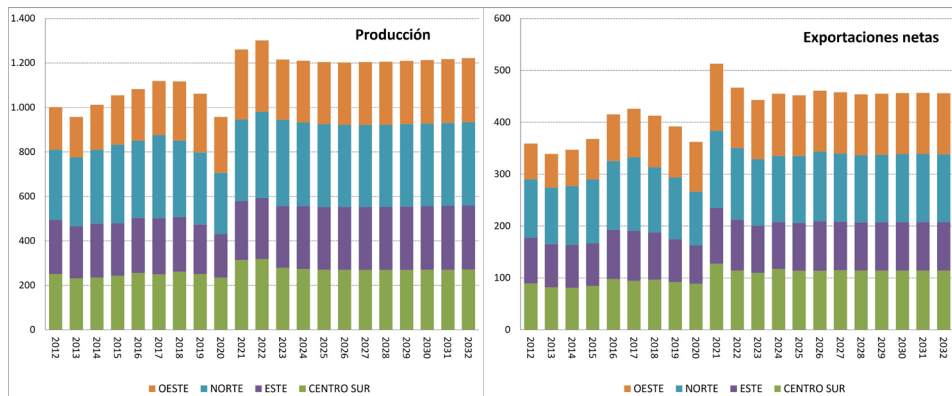
Regiones	Vacunos	Ovinos
Centro sur	1,16	0,03
Este	1,41	0,94
Norte	0,78	0,10
Oeste	-1,99	0,20
<b>Total</b>	<b>0,64</b>	<b>0,28</b>

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la producción vacuna medida a través del peso vivo de la faena, presenta una caída del 0,63 % entre los años 2022 y 2032 explicado principalmente por el menor número de animales enviados a faena en el periodo proyectado.

GRÁFICO 8

Carne vacuna. En miles de toneladas



Fuente: Elaboración propia.

Este comportamiento tiene como uno de los principales factores los retornos esperados de la actividad ya que los precios de la carne se reducen los primeros años, esto es, entre los años 2024 y 2025 y luego se recuperan. Por lo tanto, la oferta también se recupera a partir de 2027 hasta llegar a los 1,22 millones de toneladas en 2032.

Las exportaciones netas de carne bovina en todo el periodo proyectado también presentan una caída del 0,24 % como consecuencia de que el consumo doméstico se mantiene estable. En 2022, China continuó siendo el principal destino de las exportaciones de carne bovina uruguaya con un valor de mercado de U\$S 1.475 millones. Otros mercados fueron la Unión Europea y Estados Unidos con participaciones de 12 % y 14 %, respectivamente.

## CUADRO 7

### Carne vacuna: tasas de variaciones. En porcentaje

Regiones	Producción	Exportaciones netas
Centro sur	-1,61	0,02
Este	0,53	-0,50
Norte	-0,34	-0,55
Oeste	-1,1	0,06
<b>Total</b>	<b>-0,63</b>	<b>-0,24</b>

Fuente: Elaboración propia.

Si bien el stock ovino aumenta, su producción se mantendrá estable y por encima de las 80 mil toneladas en todo el periodo proyectado. La producción ovina en peso vivo de faena tiene un comportamiento similar a la evolución de los precios, los primeros años baja y luego se recupera hasta alcanzar las 83,4 mil toneladas en 2032.

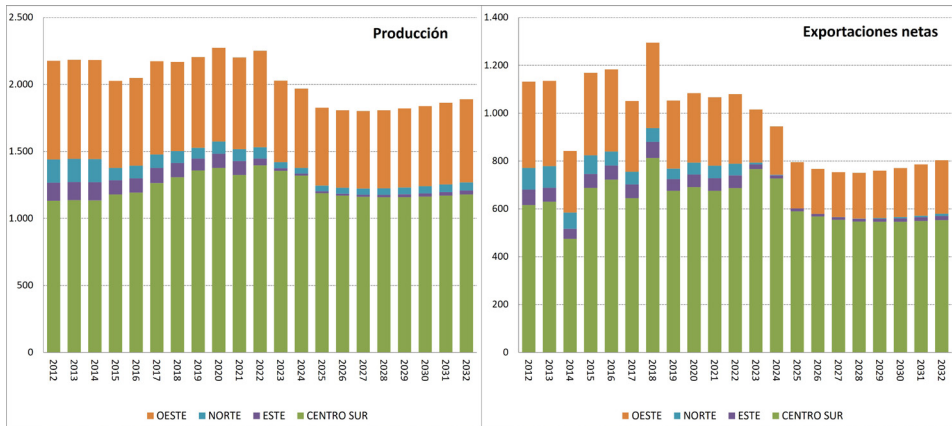
La producción láctea presenta una contracción importante en el período de proyección principalmente por la disminución del stock de vacas en ordeño. Para el 2032, se espera una producción de 1.890 millones de litros, lo que representa una caída del 1,74 % promedio anual respecto al 2022. La menor cantidad producida claramente, también se ve reflejada en los saldos exportables. En Uruguay, de la leche utilizada para la elaboración de diferentes productos lácteos, el 73 % tiene destino a la exportación (INALE, 2022) por lo que los mercados internacionales tienen una importante incidencia. El principal producto elaborado es la leche en polvo con una participación del 69 % (DIEA, 2022) y con fuerte peso en la estructura exportadora [156 mil toneladas en 2022 (DIEA, 2022)]. Los principales mercados de exportación son Argelia, Brasil, China y la Federación Rusa.

El sector forestal en Uruguay ha experimentado un crecimiento sostenido, tanto en lo que respecta al área plantada como a su desarrollo industrial. En los últimos 30 años se ha incrementado el área de bosques plantados por lo que ha permitido considerar a los bosques como un sumidero neto de carbono (CO<sub>2</sub>). En 2022, en la fase primaria se alcanzaron las 960 mil hectáreas de montes artificiales con una producción

estimada en 17 millones de metros cúbicos de madera. Respecto a la industria, existe, por un lado, la cadena celulósica con empresas como UPM y Montes del Plata y por otro, la industria de aserrío o de transformación mecánica con un sinfín de industrias muy heterogéneas.

### GRÁFICO 9

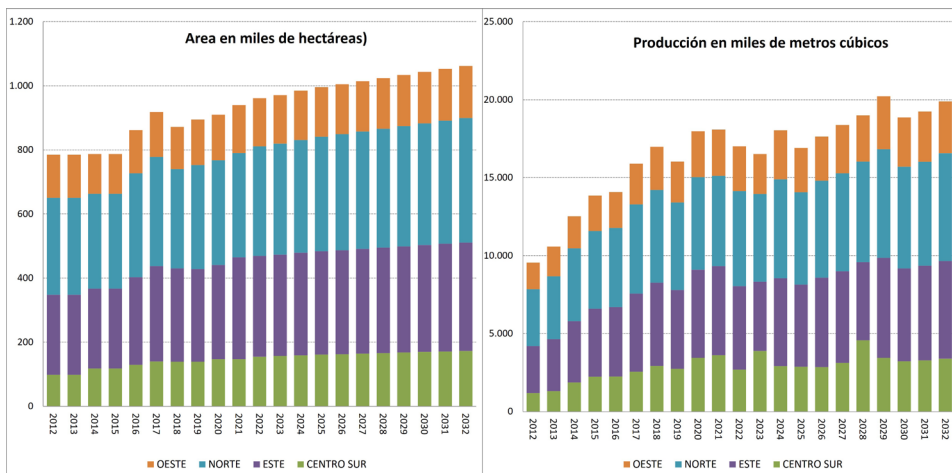
**Producción de leche y saldos de exportaciones (en millones de litros)**



Fuente: Elaboración propia.

### GRÁFICO 10

**Área de uso del suelo dedicado a la forestación y su producción**



Fuente: Elaboración propia.

La actividad de la forestación presenta una tasa de crecimiento del 2,09 % (ver Cuadro 3) alcanzando en 2032 más del millón de hectáreas y una ganancia de área de más de 100 mil hectáreas. La mayor área dedicada a la actividad, conjuntamente con los mejores precios, hacen que la producción maderera crezca en el periodo proyectado y podría alcanzar cerca de 20 millones de metros cúbicos en 2032. La producción tiene como principal destino la transformación o la exportación donde también se debería apostar a un mayor desarrollo de los biomateriales, biocombustibles (líquidos y sólidos) y biorefinerías. En 2022, la celulosa ocupó el tercer lugar en el ranking de productos exportados por Uruguay, totalizando con exportaciones por U\$S 1.818 millones en 2022. La Unión Europea conjuntamente con China fueron los principales mercados de exportación.

## 5. Conclusiones

El trabajo construyó e implementó un sistema de modelo de uso de la tierra y producción de commodities en Uruguay de forma regional. Una vez construido, se estableció una línea de base, esto es el año 2022, con un horizonte temporal de 10 años, para generar la trayectoria de un conjunto de variables de interés, teniendo como variables las áreas destinadas a cada rubro, rendimientos, producción, exportaciones, consumos y niveles de precios. Como es sabido, la estructura productiva de Uruguay está estrechamente vinculada al desarrollo de actividades basadas en recursos naturales. El sector agropecuario se caracteriza por estar constantemente condicionado por varios factores, entre ellos el precio internacional, la productividad de algunos cultivos, la trazabilidad del ganado en un 100 % y la alta calidad e imagen de la carne uruguaya a nivel mundial. En términos generales y desde una perspectiva histórica se encuentra una correlación positiva entre crecimiento de la economía y crecimiento del sector agropecuario. En ese sentido, el área nacional dedicada al sector y sus actividades se mantienen en el período de proyección, en el entorno de los 16 millones de hectáreas. El uso de la tierra en el Uruguay no presentará grandes cambios en al menos los próximos 10 años. A priori, se podría decir que se mantendrán las diferentes regiones con sus grados de especialización productiva, aunque con algunas puntualizaciones. Por ejemplo, en la región este se observa un crecimiento del área con uso forestal alcanzando el área de pasturas. En el norte, también se observa un crecimiento en el área, con valores que parecerían converger al de las pasturas.

Los cultivos tienen una ganancia absoluta de área de 89 mil hectáreas lideradas por la soja. El cultivo presenta una tasa de crecimiento del 1,97 % promedio anual entre los años 2022 y 2032. El principal desafío de la cadena sojera está en incorporar valor agregado a la producción nacional y reducir el caudal de importaciones tanto de harinas como de aceites. Sin embargo, los problemas de industrializar la producción se deben a que las empresas más eficientes y de mayor escala se encuentran en la región. Otro factor, es que la mayor parte de la producción local se exporta y eso genera un problema a la hora del abastecimiento local.

Por su parte, las pasturas pierden participación en el uso de la tierra, pasando de representar el 85 % en 2022 al 84 % en 2032. Las áreas con destino a la producción de carne presentan una leve caída del 0,01 %, al igual que el sector de la lechería donde existe una caída del 2,9 %. Estas actividades dependerán fuertemente de su productividad. En sentido amplio, la evolución de la productividad está asociada a cambios tecnológicos como puede ser la incorporación de más o nuevos insumos o por cambios en las tecnologías de proceso. La ganadería de carne en Uruguay presenta una importante dispersión que puede estar originada por las características inherentes al predio, o también por la dispar adopción de tecnología. El aumento en la productividad en las actividades asociadas a la ganadería implica mayores ingresos que remuneran el uso de pasturas, por lo que este uso aumenta, en parte por expandir el uso de tierras agropecuarias, y en parte por quitarle áreas a actividades competitivas como la agricultura o la forestación. En Aguirre *et al.* (2024) se puede observar que una mejor eficiencia técnica redundará en incrementos en los niveles de producción y en los volúmenes volcados al mercado internacional, con el consiguiente aumento de ingresos.

La actividad de la forestación, al igual que los cultivos y a diferencia de la ganadería, presenta una tasa de crecimiento del 1,09 % y en todas las regiones del país, alcanzando en 2032 más del millón de hectáreas y una ganancia de área de 100 mil hectáreas. La disminución de los retornos de la ganadería relativo a los cultivos y la forestación, son los causantes de este comportamiento. El complejo forestal-maderero deberá transitar desde la sustitución de la matriz productiva dependiente de la petroquímica hacia los productos de base biológica. Esta transición requerirá mayores niveles de inversión, de más investigación y desarrollo, y de mayor capacitación. Asimismo, Uruguay tiene en su estrategia climática de largo plazo un desarrollo bajo de emisiones de gases de efecto invernadero cumpliendo así con las bases del Acuerdo de París. Para aportar al objetivo del Acuerdo de París, la Estrategia de Uruguay incluye un escenario aspiracional de neutralidad de CO<sub>2</sub> al 2050 y escenarios de estabilidad en las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O. En este sentido, si bien el compromiso está asumido, la expansión del área de bosques se debe producir a costas de otros usos del suelo competitivos con la forestación.

Los modelos son de gran importancia a la hora de entender la realidad del sector y más aún en Uruguay donde se cuenta con pocos y aislados trabajos. El sector está continuamente sujeto a las dinámicas internacionales, las disputas comerciales, los eventos climáticos, sanitarios y coyunturales que son importantes modelizar y analizar en el entendido de los diversos efectos multiplicadores de la actividad agropecuaria en el país sobre la producción y el empleo, como se explica en Terra *et al.* (2009). El país tiene enormes oportunidades para el desarrollo productivo sostenible. Se estima que la demanda de alimentos aumentará un 50 % para 2030 y un 100 % para 2050, respecto a 2017, debido al crecimiento y el envejecimiento poblacional. Las personas demandarán más proteínas y carbohidratos además de alimentos semielaborados o terminados para una clase media asalariada con tiempo escaso para cocinar e ingreso creciente para consumir, fenómeno que se ve reforzado por el aumento del poder

adquisitivo de los mercados emergentes (Serraj *et al.*, 2019). Sin embargo, la mayor demanda de alimentos desafía al actual modelo de producción intensivo en energía proveniente de recursos fósiles, donde existe una mayor competencia por los recursos naturales (tierra y agua), y por las fuentes de energía. La variabilidad, la intensidad y el cambio climático son factores que Uruguay ha avanzado a través de su plataforma Agointeligente. Otro desafío es la de la optimización de recursos bajo la consigna de la economía circular, valorizar residuos y por qué no aumentar la vida útil de los bienes. La industria tal cual la conocemos se está abriendo paso a la producción inteligente donde existen sinergias entre lo físico y lo digital, la industria 4.0 y la inteligencia artificial (IA). Las nuevas realidades tecnológicas generan nuevos modos de producción, de gestión y de comercialización. Asimismo, se deberá ajustar las nuevas tecnologías para controlar, monitorear la gestión ambiental en la búsqueda de mitigar los impactos ambientales de los emprendimientos productivos.

Por lo tanto, el trabajo es un antecedente de referencia respecto a la modelización del sector a nivel regional y nacional. Es un insumo base de cualquier análisis cuantitativo de impacto, a la vez que resulta de un interés sustantivo para los hacedores de políticas sectoriales en Uruguay. Puede concebirse como el ascenso al primer escalón hacia una ambiciosa agenda de modelización del sector agropecuario. También sentar bases de un trabajo colaborativo que involucre tanto a la OPYPA del MGAP como a otras instituciones que forman la Institucionalidad Agropecuaria Ampliada. En cuanto a las dificultades encontradas en el trabajo se destaca el tema de las elasticidades vinculadas al sector. La disponibilidad de estimaciones para Uruguay es extremadamente baja reduciéndose a unos pocos trabajos. La resolución espacial del modelo a nivel país y regional, si bien siguió el estándar de la mayoría de los modelos globales de equilibrio parcial regional (De Gouvello, 2010; Nassar *et al.*, 2011; Nassar *et al.*, 2012), significó un gran desafío para el trabajo producto de la escasa información estadística disponible. Como positivo, algunas actividades ya disponen de información por región. Por ejemplo, las encuestas anuales de DIEA-MGAP de otoño/invierno y primavera/verano ya aportan datos a nivel regional y departamental. El SNIG también brinda información desagregada con datos de stocks y movimientos de ganado.

## Referencias

- Ackermann, M.N., Barboza, N., Cicowicz, M., Cortelezzi, A. & Durán, V. (2021). *Evaluación ex-ante de un programa de sanidad animal: Un análisis de equilibrio general computable de la erradicación de la mosca de la bichera en Uruguay. Documentos CEDLAS (N° 289)*. Obtenido de: CEDLAS-Universidad Nacional de La Plata. [https://www.cedlas.econo.unlp.edu.ar/wp/wp-content/uploads/doc\\_cedlas289.pdf](https://www.cedlas.econo.unlp.edu.ar/wp/wp-content/uploads/doc_cedlas289.pdf)

- Aguirre, E., García Suárez, F. & Sicilia, G. (2024). “Technical efficiency in beef cattle farming in Uruguay: Insights from census data”. *Agrociencia Uruguay*, 28, e1237. <https://doi.org/10.31285/agro.28.1237>
- Bertamini, F., Bervejillo, J., Silva, M. & Tommasino, H. (2015). *Regionalización agropecuaria según estructura del valor de la producción*. Obtenido de: Anuario OPYPA. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/no15-03-regionalizacion-agropecuaria-segun-estructura-del-valor>
- Bertamini, F., Carriquiry, M. & Rosas, F. (2019). “Modelo de uso del suelo en Uruguay para analizar los impactos de mediano y largo plazo de un shock en los mercados internacionales de commodities”. Comunicación presentada en las *Jornadas Académicas de la Facultad de Ciencias Económicas y de Administración*, Montevideo.
- Binfield, J., Bordigioni, M., Brown, S., Chavez, C., Chiuchiarelli, S., Gerlt, S., Helmar, M., Hoang, H., Kim, Y., Madison, D., Meyer, S., Meffert, A., Thompson, W., Westhoff, P. & Whistance, J. (2019). *2019 Baseline Update for International Dairy, Livestock and Biofuel Markets. FAPRI-MU Report #04-19*. Obtenido de: Food and Agricultural Policy Research Institute at the University of Missouri. <https://fapri.missouri.edu/publications/2019-baseline-update-for-international-dairy-livestock-and-biofuel-markets/>
- Binfield, J., Brown, S., Bordigioni, M., Chiuchiarelli, S. & Madison, D. (2021). *2021 International Livestock Outlook. FAPRI-MU Report #03-21*. Obtenido de: Food and Agricultural Policy Research Institute at the University of Missouri. <https://fapri.missouri.edu/publications/2021-international-livestock-outlook/>
- Carriquiry, M. & Rosas, F. (2018). “Modelo de uso de la tierra agropecuaria y forestal en Uruguay: Hacia herramientas para la toma de decisiones”. Comunicación presentada en las *Jornadas Académicas de la Facultad de Ciencias Económicas y de Administración*, Montevideo.
- Dissanayake, S. (2022). “General equilibrium analysis of regional trade agreements”. En Weerahewa, J. & Jacque, A. (Eds.): *Agricultural Policy Analysis* (pp. 197-220). Singapur: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-3284-6\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-16-3284-6_8)
- De Gouvello, C. (2010). *Brazil low-carbon country case study*. Obtenido de: World Bank. <https://hdl.handle.net/10986/19286>
- DIEA. (2004). *Regiones de especialización productiva*. Montevideo: Dirección de Estadísticas Agropecuarias del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, Uruguay.

- DIEA. (2015). *Regiones agropecuarias del Uruguay*. Obtenido de: Dirección de Estadísticas Agropecuarias del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, Uruguay. <https://www.mgap.gub.uy/dieaanterior/regiones/regiones2015.pdf>
- DIEA. (2022). *Anuario Estadístico Agropecuario*. Obtenido de: Dirección de Estadísticas Agropecuarias del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, Uruguay. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-estadistico-agropecuario-2022>
- Dumortier, J., Carriquiry, M. & Elobeid, A. (2021). “Impact of climate change on global agricultural markets under different shared socioeconomic pathways”. *Agricultural Economics*, 52(6), 963-984. <https://doi.org/10.1111/agec.12660>
- Holt, M. (1999). “A linear approximate acreage allocation model”. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 24(2), 383-397. <https://jareonline.org/articles/a-linear-approximate-acreage-allocation-model/>
- INALE. (2022). *Situación y Perspectivas de la lechería uruguaya*. Obtenido de: Instituto Nacional de la Leche del Uruguay. <https://www.inale.org/informes/informe-2023/>
- Kim, I., Moos, J., Patton, M. & Zhang, L. (2011). *FAPRI-UK model documentation*. Obtenido de: Agri-Food & Biosciences Institute and Queen’s University Belfast. <https://www.afbini.gov.uk/publications/fapri-uk-model-documentation>
- Nassar, A.M., Harfuc, L., Moreira, M.M.R., Bachion, L.C., Antoniazzi, L.B. & Lima, R.C. (2011). *Simulating land use and agriculture expansion in Brazil: Food, energy, agro-industrial and environmental impacts*. Obtenido de: Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais. [https://agroicone.com.br/\\$res/arquivos/downloads/140224104501\\_pesquisadores-do-agroicone-ganham-simulating-land-use-and-agriculture-expansion-in-brazil-0902.pdf](https://agroicone.com.br/$res/arquivos/downloads/140224104501_pesquisadores-do-agroicone-ganham-simulating-land-use-and-agriculture-expansion-in-brazil-0902.pdf)
- Nassar, A.M., Costa, A.C.P., Macêdo, F.d.S. & Harfuc, L. (2012). *Outlook Brazil 2022: Projeções para o agronegócio*. São Paulo: Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais.
- Rosegrant, M.W., Sulser, T.B. & Wiebe, K. (2022). “Global investment gap in agricultural research and innovation to meet Sustainable Development Goals for hunger and Paris Agreement climate change mitigation”. *Frontiers Sustainable Food Systems*, 6, 965767. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.965767>

- 
- Schaldach, R., Wimmer, F., Koch, J., Volland, J., Geißler, K. & Köchy, M. (2013). “Model-based analysis of the environmental impacts of grazing management on Eastern Mediterranean ecosystems in Jordan”. *Journal of Environmental Management*, 127, S84-S95. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.11.024>
- Serraj, R., Krishnan, L. & Pingali, P. (2019). “Agriculture and food systems to 2050: A synthesis”. En Serraj, R. & Pingali, P.L. (Eds.): *Agriculture & Food Systems to 2050: Global Trends, Challenges and Opportunities. World Scientific Series in Grand Public Policy Challenges of the 21st Century Vol. 2* (pp. 3-45). Singapur: World Scientific Publishing. [https://doi.org/10.1142/9789813278356\\_0001](https://doi.org/10.1142/9789813278356_0001)
- Terra, I., Barrenechea, P., Cuadrado, E., Pastori, H., Resnichenko, I. & Zaicever, D. (2009). *¿Cuál es la importancia real del sector agropecuario sobre la economía uruguaya?* Obtenido de: Proyecto Red Mercosur - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/es-importancia-real-del-sector-agropecuario-sobre-economia-uruguaya>
- Uruguay XXI. (2022). *Informe anual de comercio exterior 2022*. Obtenido de: Uruguay XXI. <https://www.uruguayxxi.gub.uy/es/centro-informacion/articulo/informe-anual-de-comercio-exterior-de-uruguay-2022/>
- Vinca, A. (2021). *Integrated climate-land-energy-water solutions: Modelling and assessment of sustainability policy options*. Obtenido de: University of Victoria. <http://hdl.handle.net/1828/13095>