



ESCUELA DE DOCTORADO  
INTERNACIONAL DE LA USC

Ana Cristina  
Zuñiga Zapata

Tesis doctoral

Bioeconomía y desarrollo socio  
económico en Colombia. Retos  
y oportunidades para un país  
megadiverso

Santiago de Compostela, 2022





TESIS DE DOCTORADO

**BIOECONOMÍA Y DESARROLLO  
SOCIOECONÓMICO EN COLOMBIA:  
RETOS Y OPORTUNIDADES PARA UN  
PAÍS MEGADIVERSO**

Ana Cristina Zúñiga Zapata

**ESCUELA DE DOCTORADO INTERNACIONAL DE LA  
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA  
PROGRAMA DE DOCTORADO EN DESARROLLO  
REGIONAL E INTEGRACIÓN ECONÓMICA**

SANTIAGO DE COMPOSTELA/LUGO

2022





## DECLARACIÓN DE LA AUTORA DE LA TESIS

**Dña. Ana Cristina Zúñiga Zapata**

**Título de la tesis:** Bioeconomía y desarrollo socioeconómico en Colombia. Retos y oportunidades para un país megadiverso.

Presento mi tesis, siguiendo el procedimiento adecuado al Reglamento, y declaro que:

- 1) La tesis abarca los resultados de la elaboración de mi trabajo.
- 2) En su caso, en la tesis se hace referencia a las colaboraciones que tuvo este trabajo.
- 3) La tesis es la versión definitiva presentada para su defensa y coincide con la versión enviada en formato electrónico.
- 4) Confirmando que la tesis no incurre en ningún tipo de plagio de otros autores ni de trabajos presentados por mí para la obtención de otros títulos.

En Santiago de Compostela, 23 de Mayo de 2022





## AUTORIZACIÓN DEL DIRECTOR/TUTOR DE LA TESIS

**D. Melchor Fernández Fernández**

**En condición de:** Tutor y Director

**Título de la tesis:** Bioeconomía y desarrollo socioeconómico en Colombia. Retos y oportunidades para un país megadiverso.

*Que la presente tesis, corresponde con el trabajo realizado por Dña. Ana Cristina Zúñiga Zapata, bajo mi dirección, y autorizo su presentación, considerando que reúne los requisitos exigidos en el Reglamento de Estudios de Doctorado de la USC, y que como director de ésta no incurre en las causas de abstención establecidas en Ley 40/2015.*

*En Santiago de Compostela, 23 de mayo de 2022*

Fdo. Melchor Fernández Fernández





## AGRADECIMIENTOS

Llegada a este punto tan especial de mi vida, y tras varios años de contratiempos y alegrías, agradezco de todo corazón a:

... Mi padre quien desde el cielo me acompaña y me acompañó en todo este proceso y siempre impulsó mi amor por la academia.

... Mi hijo, por comprender mis ausencias durante mis viajes a España.

... Mi familia, por darme su apoyo emocional y también económico.

... A Melchor F., por su paciencia, su ahínco y por mostrarme que la investigación puede llegar a ser algo apasionante.

... A mis amigos, por no escatimar en palabras de ánimo.

... A La Corporación Universitaria Adventista por permitirme el tiempo y espacio para mi estudio.

... A mis compañeros de la USC por su acogida en mis estancias de investigación.

... Al equipo de profesores de Fundamentos de Análisis Económico de la USC, por sus aportes al desarrollo de la tesis.

... A Dios por tener el control de mi vida.





## DEDICATORIA

A Dios y a mi familia por apoyarme y acompañarme en mi propósito de ser una apasionada docente, académica e investigadora.



## RESUMEN

La bioeconomía emerge como una nueva área de conocimiento que permite el uso racional de los recursos naturales mediante la aplicación de la ciencia y la tecnología. Desde Europa se han promovido políticas relacionadas con el aprovechamiento de los recursos naturales en beneficio del desarrollo económico y social de las naciones. No obstante, cada país aplica los principios de esta nueva área de conocimiento según la disponibilidad de recursos naturales y la política pública para su uso. Esta investigación tiene como principal objetivo analizar el impacto de la política pública en materia de bioeconomía en el desarrollo económico y social en Colombia. El trabajo introduce los conceptos fundamentales de la bioeconomía: definición, antecedentes a nivel nacional e internacional, el desarrollo de la bioeconomía en Colombia y la política de crecimiento verde en Colombia. Luego de estudiar los sectores priorizados para el desarrollo de la bioeconomía en Colombia, se analiza por medio de un modelo de equilibrio general el impacto de determinadas políticas públicas en el desarrollo económico y social, finalmente se dan recomendaciones ante las nuevas realidades derivadas de la pandemia COVID-19.

## **SUMMARY**

The bioeconomy emerges as a new area of knowledge that allows the rational use of natural resources and the application of science and technology. Europe promotes a series of policies related to the use of natural resources for the benefit of the economic and social development of nations. However, each country applies the principles of this new area of knowledge according to the availability of natural resources and the public policy for their use. The main objective of this research is to analyze the impact of public policy on the bioeconomy on economic and social development in Colombia. The work introduces the fundamental concepts of bioeconomy definition, antecedents at national and international level; the development of the bio-economy in Colombia and the green growth policy in Colombia. After studying the prioritized sectors for the development of the bioeconomy in Colombia, the impact of certain public policies on economic and social development is analyzed by means of a general equilibrium model, and finally recommendations are made in the face of the new realities derived from the COVID-19 pandemic.

## RESUMO

A bioeconomía xurde como unha nova área do coñecemento que permite o uso racional dos recursos naturais e a aplicación da ciencia e tecnoloxía. Dende Europa tense promovido unha serie de políticas relacionadas coa utilización dos recursos naturais en beneficio do desenvolvemento económico e social das nacións. No entanto, cada país aplica os principios desta nova área do coñecemento de acordo coa dispoñibilidade de recursos naturais e a política pública para seu uso. O obxectivo principal desta investigación é analizar o impacto das políticas públicas sobre a bioeconomía no desenvolvemento económico e social da Colombia. O traballo presenta os conceptos fundamentais da bioeconomía: definición; antecedentes a nivel nacional e internacional; o desenvolvemento da bioeconomía en Colombia e a política de crecemento verde en Colombia. Despois de estudar os sectores prioritarios para o desenvolvemento da bioeconomía en Colombia, analízase o impacto de certas políticas públicas sobre o desenvolvemento económico e social por medio de un modelo de equilibrio xeral e, finalmente, son feitas recomendacións sobre as novas realidades derivadas da pandemia do COVID-19 .

## CONTENIDO

<b>RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
OBJETIVOS.....	12
HIPÓTESIS .....	13
METODOLOGÍA.....	13
<b>CAPÍTULO 1. EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO DE BIOECONOMÍA .....</b>	<b>18</b>
1.1 CONTEXTO MUNDIAL DE BIOECONOMÍA: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	18
1.2 TIPOS Y VISIONES DE BIOECONOMÍA .....	23
1.3 MEDICIÓN DE LA BIOECONOMÍA.....	26
<b>CAPÍTULO 2. POLÍTICAS DE BIOECONOMÍA A NIVEL MUNDIAL .....</b>	<b>30</b>
2.1 DEFINICIONES DE BIOECONOMÍA .....	30
<b>CAPÍTULO 3. INDICADORES DE BIOECONOMÍA A NIVEL MUNDIAL: ECONÓMICOS, SOCIALES Y AMBIENTALES ...</b>	<b>44</b>
<b>CAPÍTULO 4. BIOECONOMÍA EN COLOMBIA: CONTEXTO DE ANÁLISIS.....</b>	<b>52</b>
4.1. INTRODUCCIÓN.....	52
4.2. POLÍTICAS DE BIOECONOMÍA EN COLOMBIA.....	52
4.3 CONPES DE CRECIMIENTO VERDE EN COLOMBIA .....	61
<b>CAPÍTULO 5. INTRODUCCIÓN A LA APLICACIÓN DE UN MODELO DE EQUILIBRIO GENERAL PARA COLOMBIA....</b>	<b>68</b>
5.1. CONTEXTO DE APLICACIÓN .....	68
<b>CAPÍTULO 6. BIOECONOMÍA UNA APLICACIÓN EMPÍRICA DE UN MODELO DE REVISIÓN DE IMPACTO EN COLOMBIA .....</b>	<b>83</b>
6.1 INTRODUCCIÓN.....	83
6.2 IMPORTANCIA DE LA MEDICIÓN DEL IMPACTO SOCIOECONÓMICO.....	85
6.3 REVISIÓN DE LITERATURA SOBRE LOS MODELOS DE IMPACTO.....	85
6.4 DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE EQUILIBRIO GENERAL COMPUTABLE APLICADO A LA BIOECONOMÍA EN COLOMBIA.....	91
6.5. SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE POLÍTICA PÚBLICA .....	99
6.5.1 Escenario base .....	100
6.5.2 Escenario Bio.....	100
6.5.3 Escenario educación capital humano .....	101
6.5.4 Escenario: productividad total de los factores. PTF.....	101
6.6 SECTORES ECONÓMICOS .....	102
6.7 APLICACIONES DEL MODELO DE EQUILIBRIO GENERAL COMPUTABLE A LA ECONOMÍA COLOMBIANA. ANÁLISIS DEL IMPACTO MACROECONÓMICO: CRECIMIENTO, EMPLEO Y DISTRIBUCIÓN DE LA RENTA.....	121
6.7.1 Aplicaciones a recurso humano y productividad .....	121
6.7.2 Pobreza y desigualdad: distribución de la renta en el marco de políticas bioeconómicas .....	130
6.8 RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	144



7. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	148
8. CONCLUSIONES Y FUTURAS EXTENSIONES.....	164
REFERENCIAS.....	167
ANEXO. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS .....	177

## Lista de figuras

Figura 1. Revistas con más de una contribución en aspectos sociales de la bioeconomía .....	21
Figura 2. Principales metodologías en los estudios sociales en bioeconomía.....	22
Figura 3. Principales contribuciones de los artículos de bioeconomía en las ciencias sociales .....	28
Figura 4. Estructura de la Plataforma JRC .....	50
Figura 5. Oportunidades biotecnología por sectores .....	53
Figura 6. Sectores de aplicación misión crecimiento verde.....	62
Figura 7. Aplicación de la biotecnología en los sectores priorizados en estudio de bioeconomía .....	67
Figura 8. Estructura general del modelo de equilibrio general para el presente trabajo .....	93
Figura 9. Clasificación de cuentas nacionales: sectores potenciales de actividades bioeconómicas ...	104
Figura 10. Sectores que aportan a la bioeconomía en Colombia.....	105
Figura 11. Porcentaje de actividades bioeconómicas en cada sector .....	106
Figura 12. Comportamiento del PIB sector agricultura en escenarios de bioeconomía 2015-2030 .....	107
Figura 13. Tasa de crecimiento anual acumulativa del PIB agricultura .....	108
Figura 14. Comportamiento del PIB sector alimentos en escenarios de bioeconomía 2015-2030.....	109
Figura 15. Tasa de crecimiento anual acumulativo del PIB sector alimentos en escenarios de bioeconomía 2015-2030 .....	110
Figura 16. Comportamiento del PIB sector químicos en escenarios de bioeconomía 2015-2030 .....	111
Figura 17. Tasa de crecimiento anual acumulativo del PIB sector químicos en escenarios de bioeconomía 2015-2030 .....	112
Figura 18. Comportamiento del PIB sector fármacos en escenarios de bioeconomía 2015-2030.....	113

Figura 19. Tasa de crecimiento anual acumulativo del PIB sector fármacos en escenarios de bioeconomía 2015-2030 .....	114
Figura 20. Comportamiento del PIB sector salud en escenarios de bioeconomía 2015-2030 .....	115
Figura 21. Tasa de crecimiento anual acumulativo del PIB salud 2015-2030 .....	116
Figura 22. Comportamiento del PIB sector cosméticos en escenarios de bioeconomía 2015-2030.....	117
Figura 23. Tasa de crecimiento anual acumulativo del PIB sector cosméticos en escenarios de bioeconomía 2015-2030 .....	118
Figura 24. Proyección PIB por sectores escenario base.....	119
Figura 25. Proyección PIB por sectores escenario <i>Bio</i> .....	119
Figura 26. Proyección PIB por sectores escenario TFP.....	120
Figura 27. Proyección PIB por sectores escenario KH.....	120
Figura 28. Tasa de crecimiento anual acumulativa del PIB .....	122
Figura 29. Tasa de crecimiento del PIB por escenarios acumulativo .....	122
Figura 30. Variación relativa del PIB escenarios de proyección 2015 a 2030 .....	123
Figura 31. Comportamiento del PIB en los escenarios de proyección .....	124
Figura 32. Comportamiento del PIB en los escenarios de proyección .....	125
Figura 33. Tasa de crecimiento anual de las exportaciones en el escenario de proyección .....	126
Figura 34. Comportamiento del empleo en los escenarios de proyección .....	127
Figura 35. Tasa de crecimiento acumulativa de empleo en los escenarios de proyección .....	127
Figura 36. Déficit en escenarios de proyección como porcentaje del PIB .....	129
Figura 37. Incidencia de la pobreza monetaria (2012-2020) .....	131
Figura 38. Evolución del coeficiente de Gini (2002-2020).....	136

Figura 39. Distribución de renta por deciles a 2030 .....	142
Figura 40. Redistribución de ingreso con políticas <i>Bio</i> .....	144
Figura 41. Población personas por hogar: resultados modelo .....	146
Figura 42. Porcentaje del PIB agricultura, datos Banco mundial .....	150
Figura 43. Ocupados en Colombia (millones de personas), enero 2019-septiembre 2021.....	154
Figura 44. Crecimiento económico comparación con algunos países.....	158
Figura 45. Producto interno bruto, comparación con algunos países .....	158
Figura 46. Comparación de tasa de desempleo por países .....	159
Figura 47. Gasto en investigación y desarrollo .....	160
Figura 48. Gasto público en educación, porcentaje del PIB .....	160
Figura 49. Empleo en la agricultura, porcentaje del empleo total.....	161
Figura 50. Valor agregado de agricultura en millones de USD .....	162
Figura 51. PIB total en millones de COP, 2015 .....	164

## Lista de tablas

Tabla 1. Revistas con el mayor número de artículos y citaciones en bioeconomía .....	19
Tabla 2. Resumen de los tres tipos de bioeconomía basado en Vivien <i>et al.</i> (2019) .....	24
Tabla 3. Características de las visiones de la bioeconomía .....	25
Tabla 4. Políticas base de bioeconomía en África .....	34
Tabla 5. Políticas base de bioeconomía en América .....	35
Tabla 6. Políticas base de bioeconomía en Asia y Pacífico.....	36
Tabla 7. Políticas base de bioeconomía en Europa .....	37
Tabla 8. Información de países seleccionados .....	47
Tabla 9. Métodos de medición de impacto en algunos países .....	48
Tabla 10. Sectores de actividad seleccionados para el estudio JRC.....	49
Tabla 11. Criterios para definición de bioeconomía en Colombia .....	65
Tabla 12. Evolución productividad total de los factores .....	75
Tabla 13. Parámetros escenario base 2015.....	95
Tabla 14. Esquema de matriz de contabilidad social en modelo de bioeconomía.....	95
Tabla 15. Resultados macroeconómicos escenarios de política bioeconomía.....	101
Tabla 16. Clasificación de cuentas nacionales: actividades económicas.....	103
Tabla 17. Participación de cada sector en la economía colombiana a 2015 .....	105
Tabla 18. Comparación de crecimiento del empleo en los escenarios propuestos .....	128
Tabla 19. Distribución de la renta. Colombia .....	130
Tabla 20. Incidencia de la pobreza monetaria según características del jefe de hogar.....	134
Tabla 21. Incidencia de la Pobreza Monetaria extrema según características del jefe de hogar ....	135

<b>Tabla 22. Proyección deciles en renta disponible per cápita, escenario políticas públicas en bioeconomía (pesos colombianos).....</b>	<b>138</b>
<b>Tabla 23. Proyección deciles en renta disponible per cápita, escenario políticas capital humano..</b>	<b>139</b>
<b>Tabla 24. Proyección deciles en renta disponible per cápita, escenario políticas en productividad</b>	<b>140</b>
<b>Tabla 25. Proyección deciles en renta disponible per cápita, escenario base .....</b>	<b>141</b>
<b>Tabla 26. Proyección de ingreso promedio per cápita por deciles .....</b>	<b>142</b>
<b>Tabla 27. Impacto sobre los diferentes hogares al final de la proyección .....</b>	<b>143</b>
<b>Tabla 28. Datos de empleo: resultados modelo .....</b>	<b>147</b>
<b>Tabla 29. Proyecciones Producto Interno Bruto 2020-2021 según Fedesarrollo en Colombia .....</b>	<b>151</b>
<b>Tabla 30. Graduados de instituciones de educación superior colombianas 2009-2019, por nivel de formación.....</b>	<b>154</b>
<b>Tabla 31. Escenarios alternativos. Proyección año 15.....</b>	<b>165</b>



## INTRODUCCIÓN

La bioeconomía es un concepto que ha venido teniendo gran avance en los últimos años. El presente trabajo se centra en el estudio de la bioeconomía en un país como Colombia. Un país con una gran biodiversidad y con gran potencial agropecuario. La gran mayoría de los países que han implementado estrategias de bioeconomía, han articulado las políticas públicas para favorecer su desarrollo. Los estamentos encargados de ciencia y tecnología en Colombia han dado grandes pasos al incluir en la política elementos para el impulso de la bioeconomía en Colombia. El Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES) ha generado en los últimos años una serie de documentos que apoyan el desarrollo de la bioeconomía. En la estrategia de bioeconomía para Colombia lanzada en 2020 se lee la intención por “una apuesta de país donde la riqueza en biodiversidad, la ciencia y el conocimiento convergen y se transforman en una potente fuerza de desarrollo socioeconómico sostenible y territorial” (Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación *et al.*, 2020, p. 46).

Se manifiesta en el documento de la estrategia que existen cinco desafíos para Colombia a 2030: i) el aprovechamiento de la biodiversidad continental y oceánica para un desarrollo sostenible; ii) Colombia inteligente que comprende y aprovecha su biodiversidad; iii) agro productivo y sostenible que construye tejido social; iv) biomasa 100: más valor, cero desperdicios; v) tecnologías avanzada para la salud y bienestar de los colombianos, como elementos base para el desarrollo de la bioeconomía en Colombia.

### Objetivos

El principal objetivo de esta tesis es analizar el impacto socioeconómico de la bioeconomía en Colombia, cuantificando y analizando la contribución de diferentes políticas públicas a la economía. En este trabajo se usa un modelo de equilibrio general para explicar de manera empírica el comportamiento de algunas variables de la economía colombiana con relación a las políticas en

materia de bioeconomía que se ha pensado que pueda impulsar el gobierno nacional para aportar al desarrollo económico y social.

Como objetivos específicos se trabaja:

- Caracterizar el alcance de bioeconomía en Colombia con referentes internacionales.
- Estudiar el potencial de Colombia como una bioeconomía.
- Aplicar un modelo de equilibrio general para en la medición impacto socio-económico y los efectos redistributivos en la economía colombiana.

### **Hipótesis**

Colombia puede generar un impacto positivo en sus indicadores macroeconómicos en empleo, crecimiento y distribución de la renta a través de la aplicación de un modelo basado en bioeconomía. Dadas las características que definen a Colombia como un territorio con gran diversidad y potencial agropecuario, una estrategia de crecimiento sostenible focalizada en el desarrollo de la bioeconomía se presenta como una alternativa de especial interés. El desarrollo de la bioeconomía en cualquier territorio tiene efectos directos, indirectos e inducidos que deben ser analizados con detalle para ofrecer una respuesta global (neta) y no resultados parciales. No tener en cuenta todas las implicaciones de un modelo de desarrollo, puede provocar el desarrollo de políticas equivocadas al no tener en cuenta los efectos indirectos e inducidos que solo pueden observarse sobre la base de modelos multisectoriales de equilibrio general.

### **Metodología**

El aporte de este trabajo es introducir una metodología que facilita el análisis de las políticas públicas en una economía en términos de crecimiento, pero que a su vez también analiza su impacto en la generación de bienestar social. La metodología se aplicó específicamente al caso colombiano. Los resultados proporcionan un análisis inicial de la bioeconomía en Colombia que

será de utilidad para impulsar políticas que se centren en el desarrollo futuro de la bioeconomía en esta nación.

Se usa un modelo de equilibrio con base en cuentas nacionales 2015, simulando los efectos de estas políticas en empleo y distribución de la renta a lo largo de la economía. Este tipo de información es sumamente útil para la toma de decisiones en el área de inversión en sectores bioeconómicos. Por último, el análisis de la distribución de renta en veinte tipos de hogares permite evidenciar los efectos a nivel social que puede generar invertir en bioeconomía.

### **La Bioeconomía y los modelos de equilibrio general**

Los modelos de equilibrio general se han convertido en el referente fundamental de la modelización macroeconómica en la actualidad (Torres, 2009). El concepto de bioeconomía fue acotado por primera vez por Georgescu-Roegen en 1977. El concepto ha ido evolucionando a lo largo de los años y se ha ido vinculando a algunas ciencias y adoptado diversos matices. La Unión Europea se ha constituido en una precursora de la bioeconomía desde que se inició el programa marco de la Unión Europea (1998-2002). A continuación, se enuncian algunas de las definiciones encontradas en la literatura:

- La bioeconomía es una economía basada en la producción sostenible y conversión de biomasa renovable en una gama de bioproductos, productos químicos y energía (De Besi y McKormick, 2015).
- La Cumbre Global de Economía (2018), define la bioeconomía como la producción, utilización, conservación y regeneración de recursos biológicos, incluidos el conocimiento, la ciencia, la tecnología y la innovación relacionados, para proporcionar soluciones sostenibles (información, productos, procesos y servicios) dentro y entre todos los sectores económicos y permitir una transformación a una economía sostenible.
- La FAO sostiene que la bioeconomía es un paradigma de desarrollo basado en la producción y conservación de bienes y servicios a partir del uso directo o la transformación

sostenible de recursos biológicos, que aprovecha principios y procesos naturales y les aplica la ciencia y la tecnología.

Dos importantes definiciones se extraen del trabajo que ha realizado el gobierno nacional de la mano de las instituciones más importantes} de Colombia tales como: Minciencias, Departamento Nacional de Planeación (DNP), Minambiente y los institutos del SINA, Mincomercio, Minagricultura, Agrosavia, Minenergía, IPSE, Mininterior, DANE entre otros entes, con el apoyo decidido de la Consejería Presidencial de Competitividad y la Gestión Público Privada y la Vicepresidencia de la República. Las definiciones que constituyen la base de la estrategia nacional son:

- La producción, utilización y conservación de recursos biológicos, incluyendo los conocimientos, la ciencia, la tecnología y la innovación relacionados, para proporcionar información, productos, procesos y servicios en todos los sectores económicos, con el propósito de avanzar hacia una economía sostenible (Cumbre Global de Bioeconomía, 2018).
- Economía que gestiona eficiente y sosteniblemente la biodiversidad y la biomasa para generar nuevos productos y procesos de valor agregado, basados en el conocimiento y la innovación, así lo señala el CONPES 3934 de 2018 sobre política de crecimiento verde.

En el documento denominado *Bioeconomía para una Colombia potencia viva y diversa: hacia una sociedad impulsada por el conocimiento*, lanzado en 2020 por el Gobierno Nacional se registran las siguientes cifras: Colombia tiene 311 tipos de ecosistemas continentales y marinos, el 50 % del territorio colombiano es marino, hay 58.312 especies registradas, Colombia posee 31 millones de hectáreas protegidas equivalentes al 15 % del territorio nacional y el 53 % del territorio continental de Colombia está cubierto por bosques. El país ocupa el primer lugar en especies de aves y orquídeas, el segundo lugar a nivel mundial en especies de plantas, mariposas, anfibios y peces dulceacuícolas, el tercer lugar mundial en especies de palmas y reptiles y el cuarto en especies de mamíferos.

Con relación a la biomasa se tienen los siguientes datos según el mismo estudio: Colombia tiene 5,6 millones de hectáreas en cultivos agrícolas y forestales, la producción agrícola en 2019 alcanzó 33,1 millones de toneladas, la producción pecuaria cinco millones de toneladas y se estima un potencial de 43 millones de toneladas anuales de biomasa residual.

Existen diversas visiones para abordar la bioeconomía, entre ellas la visión de la biotecnología. En este trabajo doctoral se tomó como base la visión de la biotecnología, ya que en la aplicación del modelo de equilibrio general se realizan simulaciones basadas en el comportamiento de la economía ante diversos choques de política pública, evaluando indicadores de crecimiento económico, empleo y renta. Aunque los aspectos ambientales no se consideran en este modelo se recomienda para futuros estudios trabajar en esta visión. En el desarrollo del modelo se tienen en cuenta las inversiones que se hagan en la política económica para observar el comportamiento de la economía. Políticas encaminadas hacia la inversión en bioeconomía, educación y análisis de efectos redistributivos son fundamentales en el presente trabajo.

Se evidencia también que pocos estudios abordan la dimensión ambiental como aporte a la sostenibilidad, en el presente estudio no se aborda esta dimensión. La bioeconomía se constituye en una herramienta importante para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en la medida en que las políticas de bioeconomía en cada país permitan gestionar adecuadamente los recursos naturales y pueden contribuir a cerrar las brechas de pobreza y desigualdad en los países que lo aborden, El empleo, la competitividad y la industrialización se pueden constituir como metas de los países al adoptar políticas de bioeconomía a nivel nacional.

En la revisión bibliográfica realizada se evidencia que, en los estudios de medición de impacto económico, normalmente se encuentran indicadores económicos, sin embargo, los aspectos sociales en ocasiones no están incluidos, se esperaría que los estudios incluyeran mediciones sobre reducción de la pobreza y medición de desigualdad de ingresos. En este trabajo se aborda en los resultados del modelo una aproximación al análisis de distribución de renta.

## **Una breve visión general de la investigación realizada**

El presente trabajo aborda en un principio una revisión bibliográfica del concepto de bioeconomía en artículos científicos en bases de datos indexadas tales como Scopus, Science Direct, Dialnet, entre otras. Se revisa la evolución del concepto de bioeconomía y las tendencias actuales del concepto. También se encuentran en la búsqueda algunas políticas importantes de bioeconomía a nivel mundial que aportarán al marco teórico del presente trabajo. Revisar los estudios de impacto en bioeconomía aportará al marco teórico. En una parte del trabajo también se estudia el marco de las políticas de bioeconomía a nivel Colombia, cómo se ha desarrollado el marco normativo para su promoción en el país, cuáles son las bases sobre las que se funda la bioeconomía y cuáles son las proyecciones en el marco de políticas públicas.

Se realiza una introducción a la aplicación de un modelo de equilibrio general para Colombia donde se describen el modelo y los escenarios a aplicar. En la parte final del texto se muestran los resultados obtenidos en el trabajo empírico realizado en la aplicación de un modelo de equilibrio general.

Con los anteriores datos es evidente que impulsar la bioeconomía en Colombia es fundamental para que se pueda favorecer el desarrollo socioeconómico del país. De este modo el presente trabajo permitirá analizar diferentes propuestas de política pública que favorezcan el aporte al bienestar social en Colombia.

## CAPÍTULO 1. EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO DE BIOECONOMÍA

### 1.1 Contexto mundial de bioeconomía: revisión bibliográfica

Bugge *et al.* (2016) plantean un trabajo muy interesante donde realizan un análisis bibliométrico sobre la evolución del concepto y las visiones que hay respecto a la bioeconomía, una es la relativa a la aplicación de la biotecnología para la comercialización en diversos sectores de la economía, la segunda visión es relativa al uso de recursos biológicos para establecer cadenas de valor y la última visión tiene que ver con la sostenibilidad apuntado al uso responsable de los recursos biológicos. Los autores en su estudio usaron las siguientes palabras claves para referirse al término bioeconomía en las búsquedas: bioeconomía, industria de base biológica, economía circular y biosociedad de base biológica, productos de base biológica y productos de base biológica y economía del conocimiento.

En el estudio se encontraron 453 artículos entre 2015 y 2014, publicados en 222 revistas, lo que evidencia que el interés por el concepto ha ido creciendo a nivel académico y se han venido desarrollando estudios más profundos en el tema. Los autores que más han publicado en temas relativos a bioeconomía a la fecha son: Sanders, Zhang, Birch, Montoneri, Patel y los principales países de origen de los investigadores son Estados Unidos, Países Bajos y Gran Bretaña. También existen investigadores de países como Alemania, Canadá, Bélgica, Italia, República Popular China, Australia y Suiza. Se evidencia en el estudio que las universidades o instituciones que más publican son: Wageningen University & Research Centre, Iowa State University, US Department of Agriculture, Ghent University, Utrech University, University of York, Lund University, Michigan State University, University of Florida, Cardiff University. Se evalúan también en este estudio los campos de aplicación de la bioeconomía entre los cuales se destacan biotecnología y microbiología aplicada, energía y combustibles, ciencias ambientales, química, silvicultura, química aplicada, agronomía, ingeniería agraria, ciencias de las plantas, biomedicina y ciencias sociales.

Un estudio realizado por Duquenne *et al.* en 2020 adelantó un análisis bibliométrico donde se reporta que se han publicado 2.489 artículos entre 2015 y 2019, publicados en 932 diferentes revistas y relacionados con los términos de bioeconomía: origen agrícola, bioindustria, base biológica, economía del conocimiento de base biológica, economía circular, economía de base biológica. Se observa que el número de artículos publicados entre 2015 y 2019 se duplicó respecto a períodos anteriores, así en 2015 se publicaron 327 artículos, en 2016 fueron 383, en 2017 se contabilizaron 489, en 2018 fueron 600 y en 2019 un total de 690. Esta actividad en publicaciones da cuenta de la dinámica que ha tenido esta área del conocimiento en los últimos años. Así mismo, el estudio refiere un gran índice de citación con un cálculo realizado por los autores de 18.432 citaciones. La revista que más publica sobre bioeconomía es *Journal of Cleaner Production*, publicación que centra sus temas en producción más limpia, medio ambiente y sostenibilidad, otra revista importante es *Sustainability*, revista de acceso abierto. Las publicaciones en el área de economía relacionadas con estos términos también son mencionadas en el estudio con un total de 251 artículos. Los resultados se pueden ver en **tabla 1**.

**Tabla 1. Revistas con el mayor número de artículos y citaciones en bioeconomía**

REVISTA	ARTICULOS	PESO	CITAS	PESO CITAS
Journal of Cleaner Production	121	4,86%	1529	8,30%
Sustainability	76	3,05%	596	3,24%
Agricultural Systems	49	1,97%	340	1,85%
Industrial Crops and Products	47	1,89%	576	3,13%
Ecological Economics	39	1,57%	206	1,12%
TOTAL (5 PRIMEROS)	332	13,34%	3247	17,63%
TOTAL (932 REVISTAS)	2489		18422	

Fuente: elaboración propia a partir de Duquenne (2020).

Algo importante a resaltar del estudio de los investigadores es la mención que hace a las principales instituciones que aportan a los estudios en bioeconomía:

“La institución más eficaz, en términos de artículos publicados en el campo de la bioeconomía, pero también en términos de impacto (citas), es la Universidad Holandesa de Wageningen, seguida por el Instituto Nacional de Agricultura e Investigación de Francia (INRA), el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), la Commonwealth Scientific de Australia e Industrial Research Organisation (CSIRO) y la Universidad Sueca de Ciencias Agrícolas. Excepto USDA y CSIRO, todas las organizaciones pertenecen a los Estados miembros de la Unión Europea” (Duquenne *et al.*, 2020, p. 10).

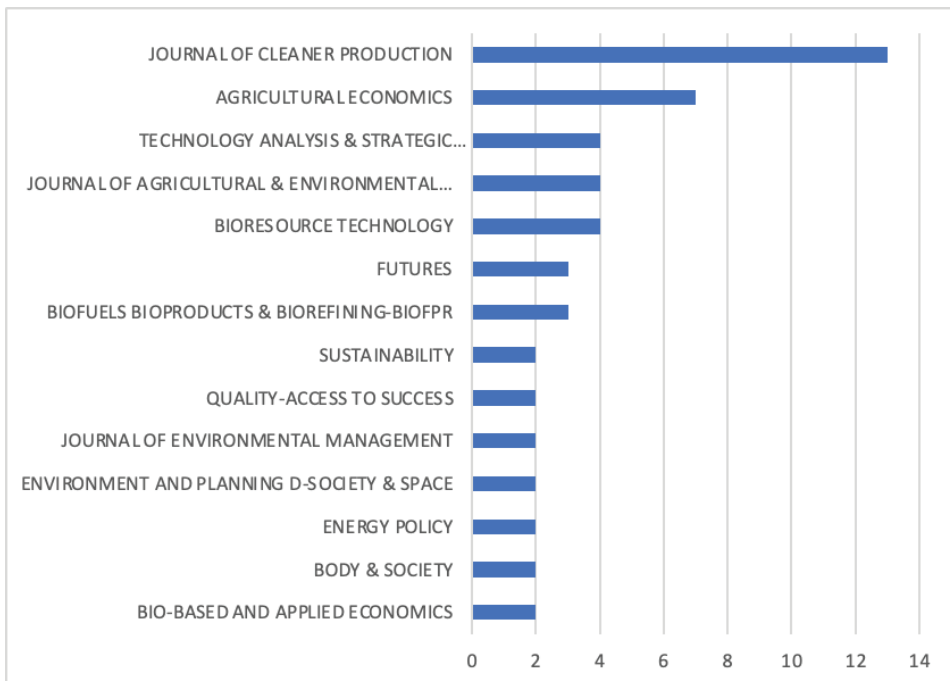
De acuerdo con el anterior estudio se evidencia que los países que más contribuyen con publicaciones son EE. UU., Alemania, Italia, Francia, Gran Bretaña, países bajos, España, India, República Popular China y Australia.

Se ha revisado otro estudio de Sanz-Hernández *et al.* (2014) donde se analiza solo el concepto de bioeconomía con las palabras clave *bioeconomy*, *bio-economy*, *bioeconomy* or *bio-economy* en Web of Science y se encontraron 1.521 artículos publicados en el período entre 2004 y 2018, se resalta que entre 2015 y 2016 nació el interés por abordar la bioeconomía desde el punto de vista social, pero es entre 2017 y 2018 cuando se perciba mayor interés en el tema. Los autores afirman que 2015 puede considerarse el punto de partida para las publicaciones en materia de bioeconomía relacionada con las ciencias sociales. En 2018 hay un pico en publicaciones con 90 artículos publicados, afirman los autores: “A primera vista, los resultados revelan cómo la investigación actual sobre la bioeconomía se centra principalmente en temas de ciencia (por ejemplo, ingeniería, química, medio ambiente, tecnología, medicina, física y biología), solo el 22 % de todas las publicaciones se basan en las ciencias sociales. Este resultado evidencia la crítica falta de estudios y análisis abordar la bioeconomía desde un enfoque social, político, económico o perspectiva de gestión” (Sanz-Hernández *et al.*, 2019, p. 109).

En los resultados del presente trabajo, se aborda el tema social desde el punto de vista de distribución de la renta y generación de empleo con el fin de aportar a la discusión sobre el impacto

de la bioeconomía en temas sociales que son poco abordados en los estudios mencionados: “las implicaciones para las sociedades apenas se han estudiado hasta ahora, al menos a juzgar por los registros de investigación publicados en revistas académicas” (Sanz-Hernández *et al.*, 2019, p. 110). En la **figura 1** se enuncian las principales revistas que han publicado más de una contribución en investigación bioeconómica en ciencias sociales, a partir de la información incluida en el estudio de Sanz Hernández (2019).

**Figura 1. Revistas con más de una contribución en aspectos sociales de la bioeconomía**

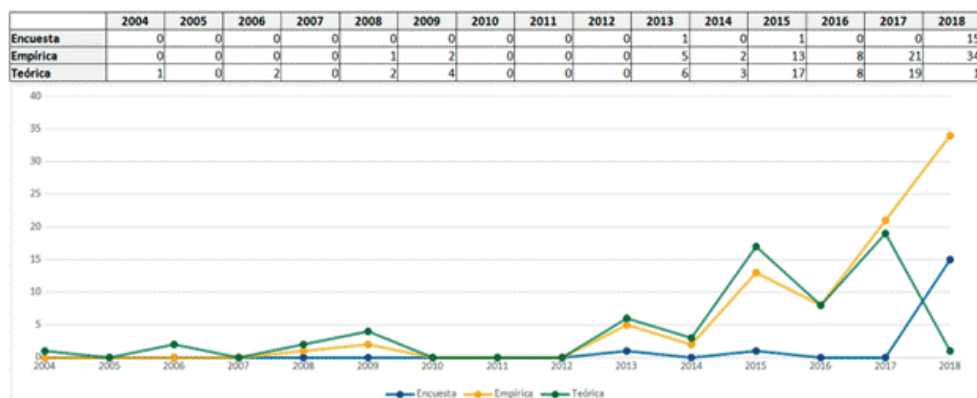


Fuente: elaboración propia a partir de Sanz Hernández (2019).

También es importante resaltar del estudio en análisis, la **figura 2** en la que se observa que, del total de artículos estudiados en ese período y la clasificación de estos según la metodología empleada, para 2018 se incrementó el número de investigaciones empíricas y su contribución,

según el mismo estudio. Esto es importante para el presente estudio ya que se realiza un análisis empírico del impacto socioeconómico de la bioeconomía en Colombia.

**Figura 2. Principales metodologías en los estudios sociales en bioeconomía**



Fuente: elaboración propia a partir de Sanz-Hernández (2019).

Son muchos los autores que hablan sobre los orígenes de la bioeconomía, en el reciente trabajo de Alviar *et al.* (2021) se resalta un párrafo donde se habla de los orígenes del término (traducción propia):

“Desde sus orígenes, el término bioeconomía ha evolucionado en opinión de los responsables de la formulación de políticas e investigación académica, reconociendo ambos el notable papel de la biotecnología como factor habilitador. Birner (2018) documenta el origen del término y sostiene que durante las décadas de 1960 y 1970 autores como Zeman y Roegen utilizan el término *bioeconomics* para referirse a la discusión sobre la incompatibilidad entre el crecimiento económico ilimitado y la disponibilidad de recursos naturales, mientras que el término *bioeconomy* fue definido por los genetistas Juan Enríquez y Rodrigo Martínez”. (Alviar *et al.*, 2021, p.2),

A nivel mundial se vienen realizando eventos que congregan a especialistas en bioeconomía. En estos espacios se dan pautas para la forma de trabajar en bioeconomía, entre ellas se resalta la Comisión Europea con la *Estrategia de bioeconomía* lanzada en 2012. La Cumbre Mundial de Bioeconomía (2018), se refirió al concepto en cuanto a la producción, uso y conservación de los recursos biológicos incluidos el conocimiento, la ciencia, la tecnología y la innovación relacionada, para el suministro de información, productos y servicios a través de todos los sectores económicos hacia un sistema económico más sostenible (Aguilar *et al.*, 2018).

Por último, en el estudio bibliométrico realizado por Duquenne *et al.* en 2020, se menciona un trabajo realizado por Muizniere et al (2019) en el que se analizan 7.000 artículos de Scopus a partir de la revisión de veinte factores que facilitan el desarrollo de la bioeconomía.

## 1.2 Tipos y visiones de bioeconomía

Vivien *et al.* (2019), plantean en su trabajo tres tipos de bioeconomía: i) bioeconomía de tipo I: considerando los límites de la biosfera, el principal problema es el agotamiento de los recursos; ii) bioeconomía de tipo II: una bioeconomía basada en la ciencia en la que la biotecnología es el motor de este tipo de bioeconomía. La OCDE es partidaria de esta visión y iii) bioeconomía de tipo III: una bioeconomía basada en la biomasa, y es impulsada por la Unión Europea. En la **tabla 2** se observan los conceptos principales de los tres tipos de bioeconomía planteados en el trabajo de Vivien *et al.* (2019).

Tabla 2. Resumen de los tres tipos de bioeconomía basado en Vivien *et al.* (2019)

	Tipo I bioeconomía	Tipo II bioeconomía	Tipo III bioeconomía
Referencias ilustrativas	Georgescu-Roegen (1975a,b, 1978)	OECD (2009, 2017a,b,c)	Langeveld <i>et al.</i> (2010) EC (2012, 2018)
Definición	Una economía ecológica, compatible con la biosfera	Una economía basada en la ciencia impulsada por la biotecnología industrial	Una economía basada en la biomasa
Relaciones naturaleza/economía	Lucha contra la entropía y la coevolución con la biosfera Desarrollo económico en línea con la evolución biológica	La celda es una fábrica. La tecnología tiene el poder de "corregir los errores de Dios"	La biomasa reemplaza a los combustibles fósiles y la minería para producir energía y materiales
Ciencia, tecnología y sociedad	Megatendencias con "tecnologías prometeicas" A la espera del advenimiento de Prometeo III, la economía de la prudencia y el compartir	Prospecto de una quinta ola de Kondratiev basada en el auge de la biotecnología. La "economía de las promesas tecnocientíficas"	Biorefinación en el corazón de la transición ecológica (perspectiva multinivel). La economía del aprendizaje.
Sustentabilidad	Enfoque de "sostenibilidad fuerte" y perspectiva de decrecimiento	Enfoque muy de "sostenibilidad débil"	Enfoque de "sostenibilidad débil"
Gobernancia	Deliberación democrática y planificación ecológica.	Mercantilización del conocimiento. Defensa de los derechos de propiedad intelectual	Política impulsada por la misión: análisis retrospectivo para identificar futuros para la bioeconomía a través de la identificación de productos y la coordinación de partes interesadas
Tensiones y paradojas	Contra-pericia en lugar de soluciones técnicas concretas Críticas de grupos sociales que se mantienen al margen de los centros de decisión El decrecimiento es un tema central en la agenda de los tomadores de decisiones	Conflictos y competencia en el patentamiento, pero la acumulación de conocimiento sigue siendo problemática. ¿Cómo se pueden integrar los procesos biotecnológicos en productos multitecnológicos complejos? ¿Cómo se pueden mantener las promesas innovadoras como una solución única en todas las áreas de aplicación? Resistencia social a los transgénicos	Sustitución de productos o funciones por nuevos productos (químicos y materiales) Probablemente, mayor presión sobre los recursos y la tierra.

Fuente: elaboración propia.

Otro aspecto para evaluar cuando se analiza el concepto de bioeconomía son las visiones de esta, cómo los autores abordan el concepto y bajo qué esquema se realizan las estrategias de los países que formulan políticas públicas al respecto. A continuación, se enuncian las visiones que proponen Bugge *et al.* (2019), las cuales se resumen en la **tabla 3**.

- **Biocientífica.** Esta visión enfatiza la importancia de la investigación y aplicación de la biotecnología y su comercialización en diferentes sectores.

- **Biorrecursos.** Una visión que se centra en el papel de la investigación, el desarrollo y la demostración (ID+i) relacionados con las materias primas biológicas en sectores como la agricultura, el mar, la silvicultura y la bioenergía, así como en el establecimiento de nuevas cadenas de valor. Mientras que la visión de la biotecnología requiere un punto de partida en la aplicabilidad potencial de la ciencia, la visión de los recursos biológicos enfatiza las posibilidades de mejora y conversión de las materias primas biológicas.
- **Bioecológica.** Una visión que resalta la importancia de los procesos ecológicos que optimizan el uso de energía y nutrientes, promueven la biodiversidad y evitan los monocultivos y la degradación del suelo. Si bien las dos visiones anteriores están centradas en la tecnología y otorgan un papel central a la ID+i en sistemas globalizados, esta visión enfatiza el potencial de circular y concentrado regionalmente procesos y sistemas integrados.

**Tabla 3. Características de las visiones de la bioeconomía**

Revista	La visión de la biotecnología	La visión de los biorrecursos	La visión de la bioecología
Metas y objetivos	Crecimiento económico y creación de empleo	Crecimiento económico y sostenibilidad	Sostenibilidad, biodiversidad, conservación de ecosistemas, evitando la degradación del suelo
Creación de valor	Aplicación de la biotecnología, comercialización de la investigación y la tecnología	Conversión y mejora de biorrecursos (orientado a procesos)	Desarrollo de sistemas productivos integrados y productos de alta calidad con identidad territorial
Impulsores y mediadores de la innovación.	I+D, patentes, OTT, consejos de investigación y financiadores (Science push, modelo lineal)	Interdisciplinario, optimización del uso de la tierra, incluye tierras degradadas en la producción de biocombustibles, uso y disponibilidad de biorrecursos, gestión de residuos, ingeniería, ciencia y mercado (modo de producción interactivo y en red)	Identificación de prácticas agroecológicas orgánicas favorables, ética, riesgo, sustentabilidad transdisciplinaria, ecología interacciones, reutilización y reciclaje de residuos, uso de la tierra (modo de producción circular y autosuficiente)
Enfoque espacial	Clústeres globales/Regiones centrales	Regiones rurales/periféricas	Regiones rurales/periféricas

Fuente: elaboración propia a partir de Bugge *et al.* (2019)

### 1.3 Medición de la bioeconomía

La bioeconomía ha generado gran interés en los países que cuentan con recursos de biomasa como oportunidad para desarrollar industrias innovadoras y una opción para el desarrollo sostenible en las industrias de base biológica (D'Adamo *et al.*, 2019). Se ha avanzado en estudios de la bioeconomía y sus conceptos, pero existe un vacío en los estudios multidimensionales sobre los impactos socioeconómicos de la bioeconomía.

La mayoría de los países analizados miden actualmente la contribución de la bioeconomía a su PIB y otras variables económicas únicamente. Este enfoque económico, sin embargo, tiene algunas limitaciones para reflejar la contribución en el ámbito económico, sobre todo porque no se ha establecido una metodología estándar para permitir la comparación internacional de la contribución de la bioeconomía al PIB. Además, los productos y actividades comprendidos dentro de la bioeconomía varían mucho según el país prioridades y ventajas comparativas. Los clasificadores de actividad económica, comercio y productos más comunes a nivel internacional —Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU), Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (NAICS), Clasificación de Actividades Económicas en la Comunidad Europea (NACE), Nomenclatura para Comercio Exterior (NET) y Clasificador por Categoría (CPC)— no son compatibles con la complejidad de la bioeconomía ya que no son apropiados para la naturaleza heterogénea y la variedad de productos de base biológica (Bracco *et al.*, 2018).

Lo anterior se constituye como una de las limitaciones principales para pensar en un sistema unificado de medición de la bioeconomía a nivel internacional, ya que no hay uniformidad en las bases de datos internacionales de clasificación internacional. Incluso el Sistema de Cuentas Nacionales (SCN 08) de Naciones Unidas, que brinda recomendaciones para medir la producción nacional, bienestar, y otras cuestiones económicas de una manera internacionalmente comparable, no permite la medición de la bioeconomía. Los clasificadores basados en actividades industriales tradicionales no son compatibles con la industria de base biológica. Esto puede llevar a una subestimación o sobre estimación del tamaño de la bioeconomía (Bracco *et al.*, 2018).

La industria de base biológica se constituye en un elemento importante para cuantificación de la bioeconomía en los países, sin embargo, si el sistema económico nacional no posee la base estadística suficiente para la cuantificación de las variables se hará muy difícil establecer un sistema de medición adecuado para el país. Otros autores también analizan el tema de la importancia de abordar la responsabilidad de la bioeconomía con la sostenibilidad, como se observa en el párrafo siguiente:

“Finalmente, la preocupación por herramientas para medir los impactos dentro de la bioeconomía tiene un papel central en los artículos. En este marco, los estudios tienen como objetivo medir la sostenibilidad de la transición en términos económicos (Martin et al., 2018; Mattila et al., 2018). Estas contribuciones reclaman la necesidad de integrar el análisis económico y procesos biofísicos en el diseño de políticas (Zilberman et al., 2018). Finalmente, otro grupo de estudios caracteriza el recurso natural mercados que apoyan la producción de biomasa (es decir, suministro de tierras y residuos mercados) o propone formas de medir las emisiones para ser consideradas en el diseño de los sistemas de gobernanza” (Sanz-Hernández *et al.*, 2019, p. 111).

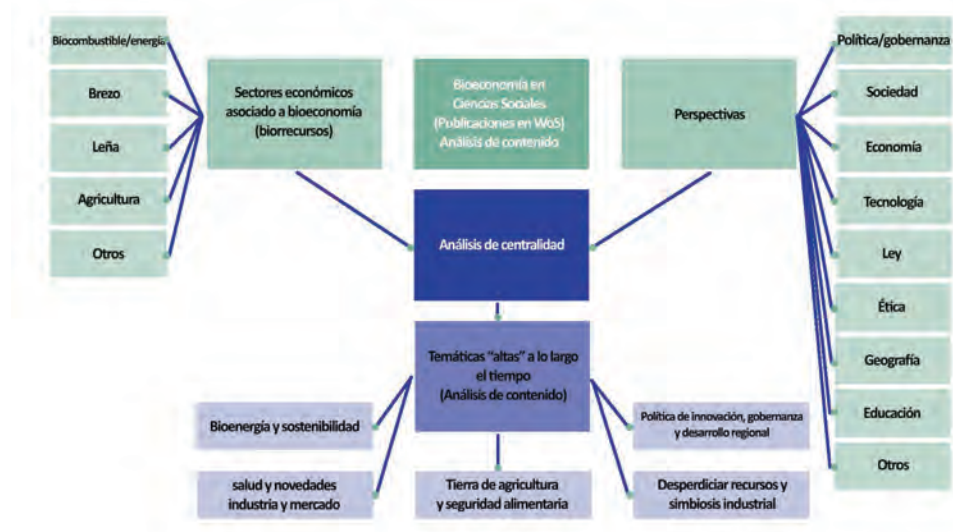
El agrícola es uno de los sectores en el que los países tienen puestas sus esperanzas cuando se habla de bioeconomía, de la tecnificación y la cualificación de la mano de obra permitirá avanzar en dirección de la bioeconomía. Sin embargo, no todos los países incluyen el sector agrícola en sus estrategias de bioeconomía (Bracco *et al.*, 2018). Una de las limitaciones más grandes en la medición de la bioeconomía radica en que en ocasiones no se generan los indicadores adecuados para los objetivos de la estrategia, es decir, una vez se adopta una definición de bioeconomía a nivel nacional, se deben generar los indicadores que soporten este objetivo.

Además del PIB, otros indicadores económicos que se utilizan a menudo para medir la bioeconomía son: ingresos por ventas, empleo, uso de recursos (cultivos, madera, desechos, tierra, capital, etc.), producción de biomasa del sector primario en el país (agricultura, silvicultura, residuos, pesca y desechos), importación de biomasa al país, uso global de la tierra para consumo

basado en biomasa en el país, producción de bienes de base biológica, precio de la biomasa y los productos biológicos, consumo de productos bioeconómicos y flujos comerciales. Otros indicadores se centran en los impulsores de la innovación, como las inversiones. y gasto en I + D o propiedad intelectual. Sin embargo, puede ser difícil capturar los impactos de una nueva innovación debido a un desfase de tiempo entre las inversiones y los resultados. Este tipo de indicadores podrían utilizarse para comparar el desempeño de los países en el desarrollo de una bioeconomía (por ejemplo, qué países tienen una estrategia de bioeconomía o cuentan con fondos dedicados a I + D) (Bracco *et al.*, 2018).

Tomando como base estos estudios teóricos analizados por estos autores se resalta esta contribución de Sanz-Hernández *et al.* (2019) donde gráficamente muestran las principales contribuciones de la bioeconomía en el campo de las ciencias sociales (Figura 3).

**Figura 3. Principales contribuciones de los artículos de bioeconomía en las ciencias sociales**



Fuente: elaboración propia a partir de Sanz-Hernández *et al.* (2019).

Un aspecto importante cuando se considera la visión de la sostenibilidad es el relacionado con las cadenas de valor autosostenibles, es decir, donde se agrega valor a cada una de las etapas del proceso. No es posible reemplazar todos los combustibles fósiles en alternativas biológicas, pero se puede hacer un esfuerzo por reemplazar algunas fuentes de energía en algunos sectores en la transición hacia la bioeconomía e impulsar el uso de la biomasa como alternativa sostenible (Kircher, 2021).

La seguridad alimentaria es uno de los objetivos de la bioeconomía moderna (Lokko *et al.*, 2018). Las cadenas de suministro deben ser sostenibles para garantizar la seguridad alimentaria, proporcionar cantidades suficientes de materias primas renovables y energía, reducir la huella ambiental y promover una economía rural saludable y viable. Más allá de esto, también es importante evitar los desechos innecesarios y reciclar los inevitables de manera útil y eficiente. Lo ideal es tener sistemas de ciclo cerrado de producción y reutilización de subproductos. La bioeconomía ya hace esto de manera adecuada, pero la ambición siempre es usar subproductos de un sector en otra parte de la web si no se pueden usar directamente.

De acuerdo con la anterior revisión bibliográfica se puede decir que aún falta mucho por explorar en el tema de bioeconomía en el campo de los impactos económicos y sociales, con la presente tesis doctoral se pretende explorar estos desarrollos relativos a estos impactos.

## CAPÍTULO 2. POLÍTICAS DE BIOECONOMÍA A NIVEL MUNDIAL

### 2.1 Definiciones de bioeconomía

La bioeconomía es la producción, utilización y conservación de recursos biológicos, incluidos el conocimiento relacionado, la ciencia, la tecnología y la innovación, para proporcionar información, productos, procesos y servicios en todos los sectores económicos con el objetivo de lograr una economía sostenible (Cumbre Global de Bioeconomía, 2018). A continuación, se muestra un breve resumen sobre el estado actual de estas estrategias y políticas de algunos países implicados en políticas de bioeconomía de acuerdo con el *Estudio sobre bioeconomía como fuente de nuevas industrias basadas en el capital natural de Colombia* (Departamento Nacional de Planeación, 2018).

- La Unión Europea desarrolló su estrategia en 2012 para fomentar una economía más innovadora y con bajas emisiones. Entre sus retos se encuentran: la seguridad alimentaria, el cambio climático y la energía, obedecen a la necesidad de investigación e innovación, con el fin de lograr unos cambios reales en el estilo de vida y en la economía.
- Alemania como líder mundial en la implantación de una política de bioeconomía, publicó su estrategia en 2010, en ella se identifican cinco campos de acción en su estrategia de investigación: seguridad mundial de alimentos, producción agrícola sostenible, alimentos sanos y seguros, aplicación industrial de los recursos renovables y desarrollo de fuentes de energía basadas en la biomasa. Para 2030 se espera tener programas de fortalecimiento en energía, recursos renovables, salud, internacionalización para la ciencia y la investigación, biodiversidad, biomasa, estrategia de desarrollo nacional sostenible, desarrollo sostenible, alta tecnología, salud y nutrición y energía. Además, se espera desarrollar productos de base biológica realizar contribuciones importantes a nivel global en nutrición mundial y protección del clima.
- España tiene su estrategia centrada para 2030 y espera promover la innovación del sector de la agroalimentación con apoyo a la investigación pública y privada a la inversión en innovación, impulsando la competitividad y la demanda de nuevos productos.

- Francia cuyos encargados son el Ministerio de Agricultura en conjunto con los ministerios de Ecología, Renovación Industrial, Educación Nacional e Investigación y Educación, la Agencia de Financiación de Investigación Pública y la Agencia Pública de Medioambiente. La producción y procesamiento de la biomasa, la silvicultura, la agricultura o la acuicultura, dirigidas a la producción de alimentos, piensos, productos de base biológica y energía renovable forman la base de la bioeconomía en este país.
- Estados Unidos basa su estrategia en la salud, el bienestar y el empleo, da impulso al sector agrícola mediante el desarrollo de nuevas fuentes de bioenergía generando nuevas industrias y oportunidades de trabajo. Según el documento *National Bioeconomy Blueprint* (2012), el desarrollo de la ingeniería genética, la secuenciación del ADN y las manipulaciones de alto rendimiento automatizado de las biomoléculas han favorecido el impulso de la bioeconomía en este país.
- Brasil basa su estrategia en el desarrollo de la biotecnología, modernizó el marco regulatorio, propició el incremento de la inversión en I + D y la consolidación de la base científica y tecnológica, la expansión y modernización de la infraestructura de laboratorio, los estímulos al emprendimiento y la diseminación de la cultura de innovación.
- México impulsa el aprovechamiento sustentable de la energía. Está desarrollando la multiplicación de semillas, plantas y material vegetativo y el establecimiento de cultivos comerciales para la producción de insumos bioenergéticos.
- Argentina, a través del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MINCYT) impulsa este aspecto. La seguridad alimentaria, la seguridad energética, la mitigación y adaptación al cambio climático, y sustentabilidad son importantes en la estrategia de este país.
- Costa Rica no cuenta con una estrategia explícita en bioeconomía, pero sí con una de conservación y protección de la biodiversidad y su utilización de forma sostenible.

Lo anterior es un resumen de algunas estrategias de bioeconomía planteados por el Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2018), en asocio con otras entidades en el proyecto mencionado.

En Colombia se está llevando a cabo el proyecto nacional *Colombia bio* (Minciencias, 2020) liderado por Colciencias, que apunta a construir una bioeconomía para 2025 contando con la fortaleza de ser el segundo país más biodiverso del mundo. Se respalda la política también en programas relacionados con el crecimiento y los mercados verdes.

La Unión Europea tiene dentro de uno de sus objetivos fundamentales el desarrollo de políticas tendientes a la integración de los objetivos de desarrollo sostenible a la realidad económica y social de las naciones. Europa lanzó en 2018 la estrategia *Una bioeconomía sostenible para Europa: consolidar la conexión entre la economía, la sociedad y el medio ambiente*. “Para hacer frente a estos desafíos, debemos mejorar e innovar la manera en que producimos y consumimos alimentos, productos y materiales dentro de unos ecosistemas saludables a través de una bioeconomía sostenible” (Comisión Europea 2018, p.1).

La definición adoptada por la nueva estrategia de Bioeconomía para la Unión Europea indica el objeto y el objetivo de la bioeconomía “Una economía que utiliza los recursos biológicos de la tierra y del mar, así como los desechos, como insumos para la producción de alimentos y para la producción industrial y energética” (Comisión Europea 2012, p.2). Se trata de una definición amplia que abarca la producción de recursos biológicos renovables y la conversión de estos recursos y los flujos de residuos en otros con mayor valor añadido, como bioenergía y bioproductos. Incluye de esta forma a la agricultura, la silvicultura, la pesca, la alimentación y gran parte de las industrias químicas y energéticas. Son todos sectores de actividad que tienen un fuerte potencial de innovación debido a que utilizan una amplia gama de ciencias y tecnologías industriales y de capacitación, junto con conocimientos locales.

El interés de la Comisión Europea por impulsar una bioeconomía basada en los sectores agropecuarios se evidencia en la actualización constante de las políticas: “La Comisión Europea impulsará y promoverá activamente todos los tipos de innovaciones y prácticas relacionadas con los sistemas agropecuarios y de producción de alimentos, la silvicultura y la bioproducción

sostenibles, a través de un planteamiento sistémico y transversal que vincule entre sí a los agentes, territorios y cadenas de valor” (Comisión Europea, 2018, p. 11).

Este es uno de los cambios fundamentales introducidos en esta nueva política, cuando se incorpora el concepto de cadena de valor y territorios. A partir de estos postulados se puede plantear que la bioeconomía evoluciona hacia modelos inclusivos con las realidades nacionales y regionales. Esta nueva visión es llamada *enfoque sistémico de la bioeconomía* (Comisión Europea, 2018). Este proyecto incluye cinco acciones específicas: i) bioeconomía azul, ii) bioeconomías inclusivas en zonas rurales, iii) proyecto piloto de bioeconomías urbanas, iv) proyecto piloto sobre captura de dióxido de carbono en suelos agrícolas y v) el proyecto de laboratorios vivos.

De acuerdo con lo anterior, en el marco de este trabajo de tesis doctoral, se hace relevante poner énfasis en la necesidad que la bioeconomía deba incluir el concepto integral de desarrollo de tal forma que genere un impacto positivo sobre las cadenas de valor a nivel mundial. El German Bioeconomy Council (2015) publicó un estudio en el que se revisan las estrategias de desarrollo de la bioeconomía en 45 países, este trabajo adelantó una revisión documental de los documentos públicos disponibles además de información de los institutos de investigación. En el estudio se identificaron las estrategias de bioeconomía en las cuales los países se basaban para el desarrollo de la bioeconomía, se identificaron las siguientes áreas de acuerdo con la importancia que le da cada uno de los países a cada tema: *High Tech* 28%, *Bioeconomy research and innovation* 18%, *Bioenergy* 16%, *Holistic Bioeconomy Development* 12%, *Biobased Economy* 7%, *Regional Bioeconomy Development* 6%, *Blue Economy* 6%, *Green Economy* 6% (German Bioeconomy Council, 2015, p.11).

A continuación, se incluyen los cuadros que se presentaron en este estudio relativos a la perspectiva de cada país y los documentos que soportan la política en cada uno. Algunos países del continente africano se caracterizan por avances significativos en la investigación en biociencias y aplicaciones de la biotecnología. Las estrategias se presentan en la **tabla 4**, existen algunas instituciones como ECOWAS (The Economic Community of West African State) y la

NEPAD (New Partnership for Africa’s Development) que trabajan en el desarrollo de la bioeconomía en África. Algunas instituciones y fundaciones como USAID, Swedish SIDA y Gates Fundation, financian proyectos en biotecnología en esa región (German Bioeconomy Council, 2015). Se observa el resumen de las políticas implementadas en África.

**Tabla 4. Políticas base de bioeconomía en África**

País	Perspectiva	Nombre del documento
Kenya	Alta tecnología	"Estrategia Nacional de Bioprospección" (2011)
		"Una Política Nacional de Desarrollo de la Biotecnología" (2006)
Mali	Bioenergía	"Strategie Nationale de Développement des Biocarburants en Mali" (2009)
		"Strategie Nationale pour le Développement des Energies Renovables" (2006)
Mauricio	Economía azul	"Economía Oceánica" (2013)
Mozambique	Bioenergía	"Política y Estrategia de Biocombustibles" (2009)
Namibia	Investigación e Innovación	"Programa Nacional de Investigación, Ciencia, Tecnología e Innovación" (2015)
Nigeria	Bioenergía	"Política e incentivos de biocombustibles" (2007)
Senegal	Bioenergía	"Carta de política de desarrollo del sector energético" (2008, 2012)
		"Estrategia Nacional de Biocombustibles" (2006)
Sudáfrica	Bioeconomía Holística Desarrollo	"La estrategia de bioeconomía" (2013)
Tanzania	Alta tecnología	"Política Nacional de Biotecnología" (2013)
Uganda	Bioenergía Alta tecnología	"Estrategia de Energía de Biomasa Uganda" (2014)
		"Política Nacional de Biotecnología y Bioseguridad" (2008)
		"La política de energía renovable para Uganda" (2007)

Fuente: elaboración propia a partir de German Bioeconomy Coucil (2015).

En el caso del continente americano, se observa que las estrategias están basadas en el aprovechamiento de los recursos naturales. La bioenergía, la bioprospección y las tecnologías para la agricultura son elementos fundamentales en las políticas de la región (**tabla 5**).

**Tabla 5. Políticas base de bioeconomía en América**

País	Perspectiva	Nombre del documento
Argentina	Investigación e Innovación	"Argentina Innovadora 2020" (2012)
Brasil	Bioenergía Alta tecnología Economía verde	"Plan Decenal de Expansión Energética 2023" (2014) "PAÍS" (2012) Estrategia de Biotecnología (2007)
Colombia	Alta tecnología	"Política para el Desarrollo Commercial de la Biotecnología a partir del Uso Sostenible de la Biodiversidad" (2011)
México	Bioenergía	"Estrategia Intersecretarial de los Bioenergéticos" (2009)
Paraguay	Alta tecnología	"Política y Programa Nacional de Biotecnoloía Agroprecuaria y Forestal del Parauay" (2011)
Uruguay	Alta tecnología	"Plan Sectorial de Biotechnology 2011–2020" (2012) "Uruguay Agro inteligente 2010–2015" (2010)

Fuente: elaboración propia a partir de German Bioeconomy Coucil (2015).

Asia y el Pacífico se considera una región altamente innovadora, en algunos países sus políticas se basan en las estrategias de biotecnología y bioindustria. Otros países impulsan la creación de valor en las industrias del sector primario de la economía y en las cadenas de valor de la agricultura. Se observan en la **tabla 6** las políticas que rigen los países de la región.

**Tabla 6. Políticas base de bioeconomía en Asia y Pacífico**

País	Perspectiva	Nombre del documento
Australia	Alta tecnología Investigación e Innovación Economía azul Bioeconomía Regional Desarrollo	"Plan Nacional de Ciencias Marinas 2015-2025" (2015) "Estrategia Nacional de Infraestructura de Investigación Colaborativa" (2013) "Oportunidades para Industrias Primarias en el Sector Bioenergía: Estrategia Nacional de Investigación, Desarrollo y Extensión" (2011) + Plan de Trabajo (2014) "Hoja de ruta estratégica para la infraestructura de investigación australiana" (2011) "Construyendo una bioeconomía en el sur de Australia" (2011-2015)
China	Alta tecnología Investigación e Innovación	"Plan de Desarrollo de la Bioindustria" (2012) "XII Plan Quinquenal (2011-2015) de Desarrollo Científico y Tecnológico Agropecuario" (2012) "12º Plan Quinquenal de Industrias Emergentes Estratégicas Nacionales" (2012)
India	Alta tecnología	"Estrategia Nacional de Desarrollo Biotecnológico (Estrategia Biotecnológica II)" (2007, 2014)
Indonesia	Bioenergía Economía de base biológica Investigación e Innovación	"Gran Estrategia Agrícola" (2015) "Política Energética Nacional" (2014)
Malasia	Bioeconomía Holística Desarrollo	"Estrategia Nacional de Biomasa" (2ª versión) (2013) "Programa de Transformación de la Bioeconomía" (2012) "Estrategia Nacional de Biomasa 2020: Creación de Nueva Riqueza para la Industria del Aceite de Palma de Malasia" (2011) "Política Nacional de Biotecnología" (2005 - 2020)
Nueva Zelanda	Bioenergía Economía de base biológica Investigación e Innovación	"Fondo de Investigación de Industrias Biológicas" (2013) "Agenda de Crecimiento Empresarial" (2012) "Estrategia Bioenergía" (2010)
Rusia	Alta tecnología	"Programa Integral para el Desarrollo de la Biotecnología en Rusia 2020" (2012) y Hoja de ruta (2013)
Korea del Sur	Alta tecnología	"3er Plan Básico de Ciencia y Tecnología" (2013) "Estrategia de Promoción de la Biotecnología Industrial" (2012) "Plan Azul-Bio 2016" (2008) "II Plan Marco de Fomento de la Biotecnología, Bio-Visión 2016" (2006)
Sri Lanka	Alta tecnología	"Política Nacional de Biotecnología" (2010)
Tailandia	Alta tecnología Bioenergía	"Marco de la Política Nacional de Biotecnología" (2004-2011; 2012-2021) "Plan de Desarrollo de Energías Alternativas" 2012-2021 "Hoja de ruta de los bioplásticos" (2008)

Fuente: elaboración propia a partir de German Bioeconomy Council (2015).

Para Europa, en sus inicios, la importancia de la biomasa y las biorrefinerías fue fundamental. Adicionalmente el programa Horizonte 2020 para (2014-2020), apoyó el desarrollo de la estrategia de investigación e innovación en Europa.

**Tabla 7. Políticas base de bioeconomía en Europa**

País	Perspectiva	Nombre del documento
Austria	Investigación e Innovación	"Estrategia de Investigación, Tecnología e Innovación para Bioindustrias en Austria" (2014) "Documento de Política sobre Bioeconomía" (2013)
Belgica	Bioeconomía Regional Desarrollo	"Bioeconomía en Flandes" (2014) y Plan de Acción
Dinamarca	Economía verde	"Plan de Crecimiento de Agua, Bio y Soluciones Ambientales" (2013) "Plan de Crecimiento para Alimentos" (2013)
Finlandia	Bioeconomía Holística Desarrollo	"La Estrategia de Bioeconomía de Finlandia" (2014)
Irlanda	Economía azul Green Economy Investigación e Innovación	"Aprovechando la riqueza de nuestros océanos" (2012) "Entregando nuestro potencial verde" (2012) "Hacia 2030" (2008)
Lituania	Alta tecnología	"Programa Nacional de Desarrollo de la Biotecnología Industrial" (2007-2010)
Países Bajos	Economía verde Economía de base biológica	"Groene Groei: voor een sterke, duurzame economie" (2013) "Groene Groei – Van Biomassa naar Business" (2012) "Memorándum marco sobre la economía de base biológica" (2012) Programa Pacto Verde (2011)
Noruega	Investigación e Innovación Alta tecnología	"Programa de Investigación en Innovación Sostenible en Industrias Alimentarias y Biobasadas" (2012 -2022) "Estrategia Nacional de Biotecnología" (2011) "Bioprospección Marina- Una Fuente de Nueva y Sostenible Riqueza Crecimiento" (2009)
Portugal	Economía azul	"Estrategia Nacional para o Mar" (2013–2020)
Suecia	Investigación e Innovación	"Estrategia sueca de investigación e innovación para una bioeconomía" (2012)
Países nórdicos occidentales (Islandia, Groenlandia, Feroe)	Bioeconomía Holística Desarrollo	"Oportunidades de futuro para la bioeconomía en los países nórdicos occidentales" (2014)

Fuente: elaboración propia a partir de German Bioeconomy Council (2015).

Se muestra en este estudio que en la mayoría de los países el desarrollo de la bioeconomía es motivado por los grandes retos sociales, tales como el cambio climático, la seguridad alimentaria y la gestión de recursos sostenibles (German Bioeconomy Council, 2015).

Hacer un recorrido por las políticas bioeconómicas presenta un panorama de las estrategias que cada uno de los países adopta para mejorar su desarrollo. Colombia tiene una gran ventaja competitiva dado su potencial en biodiversidad y se espera que este sea potencializado a través de políticas públicas acordes con los recursos. El estudio mencionado identifica desde el punto de

vista económico tres grupos: los países ricos en biomasa tales como Brasil, Malasia, Argentina, Finlandia, Marruecos, Noruega, Tailandia, Indonesia y Nueva Zelanda que concentran su estrategia de bioeconomía en la agregación de valor al sector primario de la industria, agricultura, forestal y marino. En el segundo grupo están países como Colombia, Sudáfrica, Noruega y Tailandia, donde son fundamentales las aplicaciones en bioprospección y aplicaciones industriales derivadas de los recursos biológicos, estos países fundamentan sus políticas en mejorar la productividad y la innovación en estos sectores. El tercer grupo de países no dependen de sus recursos naturales por lo que buscan desarrollar sectores de alta tecnología y estimular las industrias emergentes (German Bioeconomy Council, 2015).

Se evidencia en el estudio que la biotecnología es una tecnología habilitadora clave para el desarrollo de la bioeconomía debido a la inmensa posibilidad de aplicaciones de alto valor agregado. En Colombia la biotecnología ha jugado un papel fundamental en el desarrollo de las políticas tendientes al impulso de la bioeconomía. En algunos países la química de base biológica y las biorrefinerías juegan un papel fundamental. Las aplicaciones más relevantes a nivel de países son: en biocombustibles, industria química y médica, medio ambiente, la agricultura e innovación forestal, la industria alimenticia, la industria química además de la industria del papel y la madera. No se pueden dejar de lado las aplicaciones en el sector de la salud y los productos farmacéuticos de base biológica. En el modelo de equilibrio planteado en el presente trabajo, se trabaja con seis sectores seleccionados como base para desarrollar las simulaciones alrededor del impacto de la bioeconomía en Colombia.

En el estudio del German Bioeconomy Council (2015) se enuncian tres importantes elementos que deben impactar las políticas públicas en cada uno de los países que deseen transitar esta senda de la bioeconomía. El primero es acerca de la investigación y la innovación en las que los países invierten en infraestructura, programas de soporte a la investigación, centros de excelencia, bases de datos, redes de conocimiento, nuevos modelos de negocio, indicadores de entrenamiento y educación y en algunos casos plantas piloto para biorrefinerías. La investigación en bioeconomía sugiere temas como tecnologías de tratamiento de aguas, cadenas de valor en

nueva bioeconomía, agricultura inteligente, cultivos transgénicos, biomedicinas y biotecnología ambiental y marina, el desarrollo de experiencia y capacidad institucional para brindar adecuada educación en bioeconomía en las escuelas y universidades.

Las capacidades para transferencia y comercialización de tecnologías han permitido que se puedan certificar productos de base biológica. El impacto social que la bioeconomía pueda generar es fundamental además de la inclusión de las áreas rurales para construir una sociedad de base biológica o bien una sociedad sostenible donde los patrones de consumo deben cambiar.

A continuación, se realiza un recorrido por algunos países y zonas del mundo que han tenido experiencia en la implementación de políticas de bioeconomía con el fin de que sirvan de partida para el análisis en el presente trabajo.

En primer lugar, se analizan los países nórdicos en un trabajo realizado por Refsgaard *et al.* (2021) denominado *Bioeconomy. A driver for regional development in the Nordic countries*, y que fue presentado en 2021 en la revista *New Biotechnology*. En este trabajo se enfatiza cómo los *clusters* son herramientas de política pública fundamentales para el desarrollo regional y la necesidad de realizar alianzas de cooperación a nivel institucional. Estos países resaltan la importancia de la economía circular haciendo más sostenibles los procesos industriales:

“Los subproductos y flujos de residuos de un proceso de transformación se convierten en insumos para otros procesos, minimizando así residuos y transformándolos en recursos. Esto significa que una bioeconomía con un grupo de actividades interrelacionadas puede tener una gran importancia regional o impacto local en el empleo, el valor añadido local y el medio ambiente” (Refsgaard *et al.*, 2021, p. 131).

En el estudio de los países nórdicos se analiza el empleo como una variable que puede variar en términos del impacto de la bioeconomía. También resaltan los autores que en la mayoría de los casos el impacto de la bioeconomía se mide en términos de sectores separados y no en un

análisis de la circularidad en el uso de los recursos de biomasa donde un residuo de un sector se podría convertir en un input de otro sector. Una importante conclusión de este estudio se basa en resaltar que los recursos naturales son limitados y que el mercado es quien dirige su uso, la innovación, la política pública y las redes de conocimiento.

Otro de los países estudiados es la República Checa, también se ha analizado este estudio, donde se destacan seis áreas clave para esa economía: personas y sociedad; modelo económico, ecosistemas resilientes; municipios y regiones: desarrollo global y buena gobernanza. La ciencia, la tecnología y la innovación son los ejes centrales de la estrategia, el país tiene un entorno nacional para el desarrollo de las *Spin Off* y las *Star Up*, una plataforma para la protección de la propiedad intelectual y *marketing* inteligente (Hajek *et al.*, 2021).

La Comisión Europea actualizó en 2018 su estrategia nacional de bioeconomía con miras a hacerla compatible con la agenda de los objetivos de desarrollo sostenible a 2030. Así, actualizó las siguientes estrategias:

- i) fortalecimiento y ampliación del sector de base biológica,
- ii) desbloqueo de inversiones y mercados,
- iii) impulso al desarrollo de las bioeconomías locales
- iv) límites ecológicos y mejora de la base de conocimiento sobre la presión en el medio ambiente y la mejora de los ecosistemas.

El objetivo de las políticas de bioeconomía en la Unión Europea es crear un millón de nuevos puestos de trabajo en las industrias de base biológica. La Comisión Europea creó en 2017 el Foro Internacional de Bioeconomía donde se espera la cooperación internacional en investigación e innovación en bioeconomía.

Existen algunos estamentos con unas funciones específicas alrededor de la bioeconomía entre ellos: El Centro Común de Investigación de la CE (CCI) que supervisa los puestos de trabajo y la bioeconomía de la Unión Europea para todos los Estados miembros y todos los sectores. El CE Bioeconomy Knowledge Center, que analiza la rotación, el empleo y el cociente de ubicación

(es decir, la proporción del empleo en la bioeconomía en un Estado miembro dividido por la cuota de empleo de la UE en la bioeconomía). El consorcio Economy Strategy (Sat-BBE) que se encarga de medir el impacto ambiental de la bioeconomía. El MontBioEco (del Instituto de Recursos Naturales de Finlandia, el grupo de trabajo estratégico de bioeconomía del Comité Permanente de Investigación Agrícola –SCAR, BSW– y CASA, Ministerio de Agricultura y Silvicultura de Finlandia).

En general, existen diversas alternativas alrededor del mundo que impulsan el desarrollo de la biotecnología, a la vez que van evolucionando día a día de acuerdo con los nuevos desarrollos en ciencia y tecnología. Se mencionan los siguientes:

- **Bioeconomy Social Accounting Matrix:** la base de datos oficial Biosam (Bioeconomy Social Accounting Matrix) publicada por el *Joint Research Centre of the European Commission* en 2010 fue una importante contribución al análisis de bioeconomía para cada nación europea la cual incluye un detallado desglose de las cuentas asociadas a bioeconomía.
- **Plataforma Tecnológica Europea TP:** plataforma tecnológica europea para la alimentación y la agricultura ecológicas: en esta plataforma se une la cadena de suministro de alimentos para llevar las prioridades de investigación del sector orgánico en Europa a los que elaboran las políticas públicas a nivel europeo.

La estrategia española de bioeconomía se fundamenta en el uso eficiente y sostenible de los recursos biológicos, las tecnologías se convierten en herramienta fundamental para aumentar la competitividad y la productividad de las industrias. El desarrollo social es uno de los retos para esta estrategia. La bioeconomía en España puede representar en el año 2015 el 6,5% del producto interno bruto y estar empleando alrededor del 9% de la población activa (Lainez *et al.*, 2018).

El principal objetivo de la bioeconomía en España es el uso de los recursos biológicos para generar alimentos y piensos. La sostenibilidad ambiental es fundamental en la obtención de

material orgánico renovable. El sector privado y público, participa en la financiación de proyectos de bioeconomía en España. El impulso a los mercados es fundamental para el desarrollo de esta.

La economía circular, la economía verde y la bioeconomía están relacionadas entre sí, para la conciliación de las metas ambientales y sociales, se hace necesario definir los límites de cada concepto para poder avanzar en la construcción de políticas públicas en cada país (D'Amato *et al.*, 2017).

Además de los anteriores estudios se encuentran algunos otros que se mencionan a continuación:

- Imbert *et al.* (2018) realizan una comparación entre las estrategias de política que rigen en Alemania e Italia. Encuentran algunas diferencias significativas y señalan que en Italia el tema del impulso al empleo es fundamental, y en Alemania apoyar la innovación, la competitividad y el liderazgo tecnológico es la razón de ser de la política.
- En Polonia hay tres sectores de la economía que juegan un papel importante y están incorporados a la estrategia nacional de bioeconomía, a saber, la agricultura, la industria de procesamiento agroalimentario y la silvicultura. En este país el concepto de bioeconomía no es muy conocido y las oportunidades que brinda aún no están identificadas (Woźniak *et al.*, 2018).
- Las ventajas de Canadá de tener abundantes recursos naturales, una fuerza laboral altamente educada y la capacidad de innovación son fortalezas que se pueden aprovechar durante la transición a una economía baja en carbono. Se están tomando medidas importantes para fomentar el desarrollo del sector canadiense de tecnologías limpias basado en los recursos naturales y la bioeconomía (Sarkar *et al.*, 2018).
- Nueva Zelanda posee una gran tradición agrícola y ganadera, sin embargo, el modelo económico actual debe de replantearse, desde el punto de vista de finanzas y gobernanza. Se espera que la economía en Nueva Zelanda se integre con un modelo donde el sector

primario sea el tractor del resto de los sectores. Replantear el modelo económico es el camino para avanzar hacia la bioeconomía en Nueva Zelanda (Wreford *et al.*, 2018).

- Malasia, caracterizada por abundantes recursos naturales y gran biodiversidad, impulsa para el desarrollo de la bioeconomía la unión del sector privado y el sector público y cuenta con un programa nacional de bioeconomía. En el aspecto jurídico también presenta un gran avance y sus instrumentos legales favorecen su desarrollo. Las estrategias centrales del programa se enfocan en el conjunto completo de la cadena de valor para aumentar los efectos multiplicadores de una economía sostenible y crear un impacto positivo en los ingresos y el bienestar de las personas. La abundancia de recursos biológicos renovables en el país brinda la oportunidad para el crecimiento de la bioeconomía a través de la investigación y la innovación (Arujanan, 2018).
- Finalmente, el estudio de Sasson y Malpica (2018) concluye para Latinoamérica que la transición hacia una bioeconomía basada en el conocimiento también es altamente dependiente del nivel de aplicabilidad de los nuevos desarrollos tecnológicos en sectores específicos de la economía latinoamericana. El impacto socioeconómico esperado puede ser muy alto en sectores maduros, donde las cadenas de valor están bien establecidas.

### **CAPÍTULO 3. INDICADORES DE BIOECONOMÍA A NIVEL MUNDIAL: ECONÓMICOS, SOCIALES Y AMBIENTALES**

La bioeconomía ha generado gran impacto a nivel mundial y se han producido avances importantes en temas de política pública global, a pesar de esto se ha trabajado poco para monitorear, modelar y evaluar los impactos y trayectorias de desarrollo de los sectores de la bioeconomía (D'Adamo *et al.*, 2020). Investigadores de algunos países han trabajado en el desarrollo de indicadores bioeconómicos, a continuación, se presenta un resumen de los principales logros en esta materia. A pesar de que se ha escrito mucho sobre bioeconomía en los últimos años, son pocos los autores que han incursionado en la medición del impacto de la bioeconomía. A continuación, se resaltan algunos de los trabajos que hablan sobre este tema.

En 2020, investigadores de la Universidad de Roma propusieron el indicador socioeconómico para la bioeconomía (SEIB) (D'Adamo *et al.*, 2020). En el estudio se hace una clasificación de países según este indicador y se analizan los sectores económicos para la medición. Para realizar este trabajo se seleccionaron los sectores de la bioeconomía y los parámetros para medir el desempeño socioeconómico, se asignan valores a estos parámetros y se definen ponderaciones para los sectores de base biológica. La base de datos Eurostat fue fundamental para este estudio y la técnica usada para la medición es el análisis de decisiones multicriterio. El SEIB se compone de la interacción entre tres variables: el valor de los parámetros socioeconómicos para cada sector; el peso de los parámetros socioeconómicos para cada uno y el peso de los sectores de base biológica.

En las conclusiones del anterior estudio se menciona que el seguimiento de la bioeconomía europea se ha visto obstaculizado por la falta de datos e indicadores estandarizados, sin embargo, se han analizado aspectos de sostenibilidad, política de innovación tecnológica, seguridad alimentaria y aspectos sociales. Este trabajo contribuye al conocimiento proporcionando una herramienta para comparar los aspectos socioeconómicos de la bioeconomía: valor añadido,

volumen de negocios y número de trabajadores. Los países son clasificados según este indicador en virtuosos, intermedios y rezagados para la bioeconomía (D'Adamo *et al.*, 2020).

En el trabajo de Kircher (2021), se afirma que la bioeconomía genera 2.300.000 millones de euros en la Unión europea y crea 18,1 millones de puestos de trabajo, se puede afirmar entonces que es necesario que cada país procure impulsar estudios tendientes a monitorear los indicadores de la bioeconomía para poder hacer comparaciones a nivel global. Sin embargo, se afirma en otro trabajo que las implicaciones de la bioeconomía desde un perspectiva social y económica son demasiado escasas (Duquenne, 2020).

Bracco *et al.* (2018) en el trabajo denominado *Assessing the Contribution of Bioeconomy to the Total Economy: A Review of National Frameworks* evalúan los métodos nacionales utilizados para la medición de la contribución de la bioeconomía a la economía total, los países evaluados fueron: Argentina, Alemania, Malasia, Países Bajos, Sudáfrica y Estados Unidos. Los autores indican que la mayoría de los países miden únicamente la contribución del producto interno bruto (PIB), la facturación y el empleo en los sectores incluidos. Afirman también los autores, que los impactos sociales y ambientales de la bioeconomía no son medidos en muchas ocasiones:

“La literatura sobre la visión de la bioeconomía ha ido evolucionando en paralelo con el concepto y se ha agrupados bajo tres perspectivas principales: i) la visión de la biotecnología, que enfatiza las innovaciones y utilización de biotecnología a escala comercial; ii) la visión de fuentes biológicas, que enfatiza la mejora de las cadenas de valor de la producción de biomasa aguas arriba; iii) y la visión de la bioecología, que enfatiza los impactos positivos de la energía y la optimización de recursos en la salud de los ecosistemas” (Bracco *et al.*, 2018, p. 1, 1698).

Hay dos variables que pueden considerarse en el avance de la bioeconomía en cada país. Una es la cantidad de recursos naturales que posee el país y otro es el nivel tecnológico para la transformación de la biomasa en productos con alto valor agregado. La combinación de las

anteriores variables es la que hace las diferencias de aplicación de la bioeconomía entre los diversos países. Esta variabilidad también influye en que no haya a la fecha un modelo uniforme de contribución de la bioeconomía. Los autores del este estudio afirman que, en la actualidad, no existe una metodología acordada internacionalmente para medir el progreso en la consecución, las ambiciones y objetivos establecidos por las políticas y estrategias de bioeconomía:

“Además, dadas las diferencias entre las limitaciones, oportunidades y prioridades de los países, el desarrollo de una forma uniforme de evaluarla contribución de la bioeconomía a la economía nacional es un desafío, además, incomprensible. Los procesos de medición pueden llevar a la omisión de posibles impactos negativos de la bioeconomía. Esta falta de una metodología coherente también podría crear confusión al intentar comparar la importancia de la bioeconomía dentro y entre países. Un primer paso hacia una metodología reconocida mundialmente podría ser evaluar los esfuerzos actuales de cada país para definir la bioeconomía y los marcos para medir, monitorear y reportar su contribución” (Bracco *et al.*, 2018, p. 2, 1698).

Los autores mencionan en su estudio que en su esfuerzo por ampliar las bases de medición de la bioeconomía la Unión Europea (EU), creó en 2012 la estrategia de la Comisión Europea para la Bioeconomía y también se creó el JRC, centro común de investigación para los países miembros de la Unión Europea. En economía, se usan a menudo los modelos económicos tales como el enfoque de valor agregado PIB, el insumo-producto (I-O), el análisis de matriz contable (SAM), el modelo de equilibrio general computable (CGE) o el modelo de equilibrio (PE) para determinar los impactos. Como se enunció anteriormente no existe una metodología uniforme para la medición de la bioeconomía a nivel global, además que las prioridades de cada país son diferentes.

Basado en el estudio de Bracco *et al.* (2018), se ofrece un cuadro comparativo por países donde se describen tres elementos: definición de bioeconomía, objetivos de la estrategia de bioeconomía y metodología de medición de contribución de la bioeconomía a la economía. A continuación, se muestra la **tabla 8** de ese estudio con las fuentes de información.

**Tabla 8. Información de países seleccionados**

País	Definición y Estrategia de Bioeconomía	Objetivos/Prioridades de la Estrategia	Marco de medición, seguimiento y presentación de informes
Argentina	Ministerio de Agroindustria	(MINAGRO) [10]	Bolsa de Cereales [11]
Alemania	Ministerio Federal de Alimentación y Agricultura (BMEL), y el Ministerio Federal de Educación e Investigación (BMBF) [12]	Estrategia Política Nacional de Bioeconomía [13]	Actualmente se está desarrollando un enfoque integral y de monitoreo del sistema para medir la contribución de la economía alemana en la economía en general.
Malasia	la Política Nacional de Biotecnología (NBP); el Estatus BioNexus (BNX); el Programa de Transformación de Bioeconomía (BTP); el Programa de Desarrollo Comunitario de Bioeconomía (BCDP); Estrategia Nacional de Biomasa 2020 ("NBS 2020") [14]	BTP y BCDP [14]	MOSTI y Corporación Bioeconomía ([14,15])
Países Bajos	Agencia de Empresas de los Países Bajos (RVO) [16]; CE Delft [17]; Agencia Ministerio de Asuntos Económicos (NOST) [18]; NNFCC [19]	NOST [18]; NNFCC [19]	Monitor de protocolo de economía de base biológica [16]; Instituto NOVA [20]; CE Delft [17]; Centro de Conocimiento EC Bioeconomía [21]
Sudáfrica	Comprensión pública de la biotecnología [22]; Estrategia nacional de biotecnología [23]	Estrategia Nacional de Biotecnología [23]	Estrategia Nacional de Biotecnología [23]; estudio en curso para establecer un marco para desarrollar indicadores para medir el crecimiento de la BE en Sudáfrica [24]
USA	Plan Nacional de Bioeconomía [25]; La Visión de Bioeconomía de los Mil Millones de Toneladas [26]	Plan Nacional de Bioeconomía [25]; La Visión de Bioeconomía de los Mil Millones de Toneladas [26]	Informes del USDA ([27–29]); Departamento de Energía [30]

Fuente: elaboración propia a partir de Bracco *et al.* (2018).

Se resalta en el estudio de Bracco *et al.* (2018) que la encuesta realizada a las instituciones y personas vinculadas a la bioeconomía contiene elementos importantes cuando se piensa en medir el impacto de la bioeconomía tales como: facturación y ventas; valor agregado; creación de empleo; el desarrollo del mercado; inversiones; propiedad intelectual; gasto en I+D; balanza comercial; alivio de la pobreza; seguridad alimentaria y agricultura sostenible; salud y bienestar; educación; igualdad de género; disponibilidad y gestión sostenible del agua; industrialización e innovación inclusivas y sostenibles; desigualdad e inclusión; ciudades seguras, resilientes y sostenibles; aseguramiento de patrones de consumo y producción sostenibles; cambio climático; océanos, mares y recursos marinos; ecosistemas terrestres, bosques, degradación de la tierra y biodiversidad.

A continuación, la **tabla 9** recoge algunos datos relativos a la forma en que los países miden el impacto de la bioeconomía.

**Tabla 9. Métodos de medición de impacto en algunos países**

País	Objetivo bioeconomía	Prioridad en bioeconomía	Método de medición de impacto de la bioeconomía
Argentina	Herramienta para el desarrollo sostenible	Cambio climático y reducción de pobreza	Valor de producción y bioproductos al PIB.
Alemania	Alimentos de alta calidad, uso de recursos renovables	Crear empleo y valor añadido en las zonas rurales	El seguimiento de los flujos de biomasa, el Monitoreo y Modelización Sistémica de la Bioeconomía (SYMOBIO), y la identificación de indicadores económicos clave de rendimiento para controlar la bioeconomía.
Malasia	Herramienta para el crecimiento económico y la productividad agrícola	Competitividad internacional y economía ecológica	Índice de contribución a la bioeconomía (BCI), que incluye el valor agregado de bioeconomía, exportaciones de base biológica, inversiones en bioeconomía, empleo en bioeconomía, y rendimiento de la productividad. La base es un modelo de equilibrio general.
Sur África	Competitividad internacional a nivel industrial y agrícola	Seguridad alimentaria y economía ecológica	Indicadores de “conocimientos y habilidades” e indicadores de “apoyo financiero”. Dieciocho indicadores de resultados: industria, el mercado, la transmisión y aplicación del conocimiento y base de conocimientos y recursos humanos).
Países Bajos	Fomentar el desarrollo del conocimiento y la innovación	Sostenibilidad y uso de recursos biológicos renovables y residuos	Protocolo de monitoreo BEE con datos estadísticos de producción y consumo
Estados Unidos	Investigación y desarrollo en torno a la bioeconomía	Inversiones en I+D, regulaciones, capacitación e incentivos a los desarrollos	El informe del USDA examina y cuantifica el efecto de la industria de productos biológicos de una perspectiva económica y laboral a nivel estatal. El DOE (Departamento de Energía) proporciona algunas cifras sobre el tamaño de la bioeconomía, cuantifica el empleo directo y los ingresos de los recursos de biomasa.

Fuente: elaboración propia a partir de Bracco *et al.* (2018)

El primer paso para generar un indicador que permita medir el impacto de la bioeconomía es tener claridad sobre los sectores que se pueden considerar bioeconómicos. En Europa esta clasificación está en la NACE (clasificación estadística de las actividades económicas en la Comunidad Europea). Un estudio realizado por Ronzon y M'Barek, sugiere que los sectores bioeconómicos son los que tienen una base biológica completa, ya sea porque producen biomasa, porque usan biomasa como materia prima o porque transforman la biomasa en otras materias primas. Conocidos los sectores, el siguiente paso sugerido por este trabajo es monitorear las siguientes variables a nivel de bioeconomía en la Unión Europea:

- Número de personas empleadas en bioeconomía año tras año.

- Número de personas empleadas por millón de euros de facturación en los sectores de bioeconomía, este último es un indicador de la productividad laboral.

En 2017 se creó en Europa un sitio web donde se consultaba en línea la información relativa a bioeconomía denominada *Jobs and wealth in the EU bioeconomy*, una iniciativa entre el JRC y Nova Institute<sup>1</sup>, como se observa en la tabla 10 y en la figura 4 se estudiaron los siguientes sectores.

**Tabla 10. Sectores de actividad seleccionados para el estudio JRC**

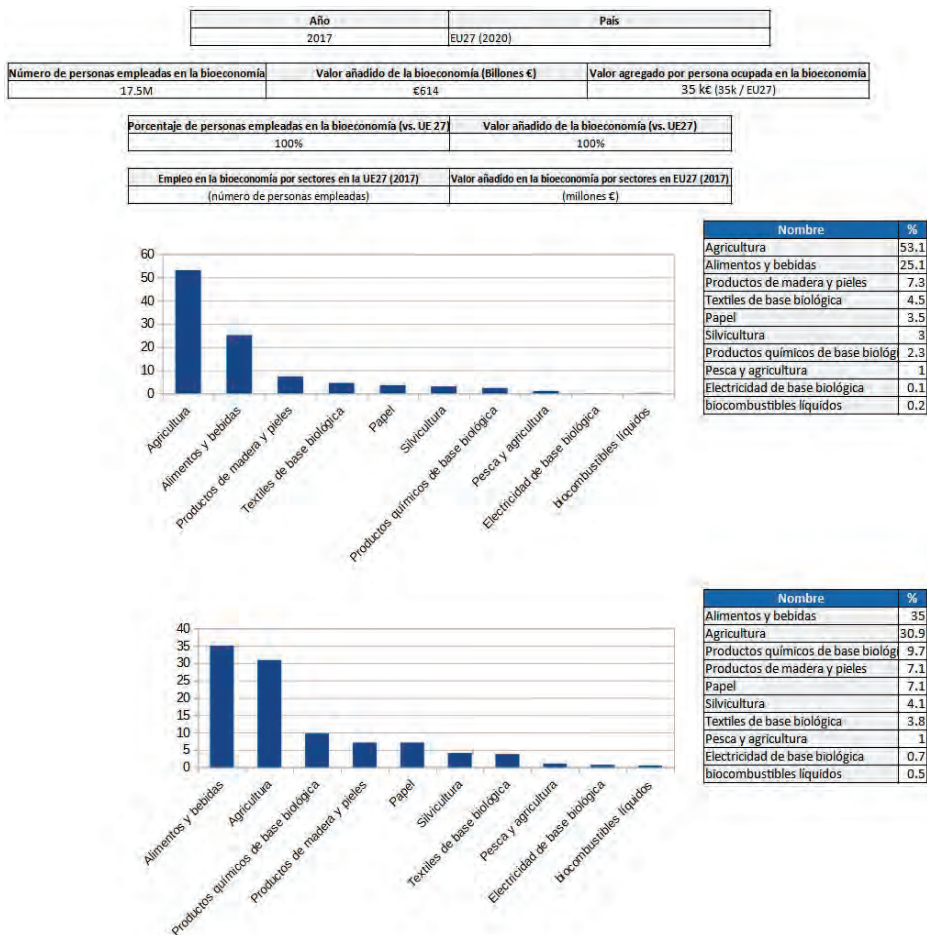
Sector	Trabajadores	Rotación	Valor añadido
Agricultura	51.0	16.8	28.0
Silvicultura	3.0	2.2	3.8
Pesca	1.2	0.5	1.1
Fabricación de alimentos, bebidas y tabaco.	25.1	51.0	37.6
Fabricación de textiles de base biológica.	5.6	4.6	4.6
Fabricación de productos de madera y muebles.	7.8	7.7	7.6
Fabricación de papel	3.6	8.3	7.3
Fabricación de productos químicos de base biológica, productos farmacéuticos, plásticos y caucho (excepto biocombustibles)	2.5	7.8	9.1
Fabricación de biocombustibles líquidos	0.1	0.5	0.4
Producción de bioenergía	0.1	0.5	0.5

Fuente: elaboración propia.

---

<sup>1</sup> Los datos pueden consultarse en el siguiente enlace:  
<https://datam.jrc.ec.europa.eu/datam/mashup/BIOECONOMICS/index.html>

Figura 4. Estructura de la Plataforma JRC



Fuente: elaboración propia.

La bioeconomía presenta una oportunidad importante para adoptar nuevos elementos relacionados con la innovación y el desarrollo de las cadenas de valor. En una de las diversas formas de bioeconomía los actores tienen que lidiar con un entorno cambiante y competitivo (Vivien *et al.*, 2019). En esta nueva visión de la bioeconomía, se habla de competitividad a nivel industrial. La

circularidad y la eficiencia no siempre están integradas en las estrategias de bioeconomía, pero algunos autores introducen el concepto de bioeconomía circular para garantizar que la bioeconomía sea un soporte válido para la eficiencia de los recursos (Vivien *et al.*, 2019).

En un artículo publicado en 2020 denominado *A New Socio-economic Indicator to Measure the Performance of Bioeconomy Sectors in Europe*, se afirma que, sin embargo, se ha realizado poco trabajo para monitorear, modelar y evaluar los impactos y las trayectorias de sectores particulares de la bioeconomía. Como se explica en este trabajo y como lo afirman otros autores en la literatura sobre bioeconomía se observas una la falta de estudios multidimensionales sobre los impactos socioeconómicos de la bioeconomía (Sanz-Hernández *et al.*, 2019).

El interés de realizar este trabajo radica en evaluar la medición del impacto de la bioeconomía en Colombia, bajo el análisis de algunas políticas propuestas a la luz de los sectores priorizados en el *Estudio sobre la bioeconomía como fuente de nuevas industrias basadas en el capital natural de Colombia n.º 1240667, fase I* (Departamento Nacional de Planeación, 2018).

El centro común de investigación JRC de la Unión Europea, apoyó la construcción de una SAM para la Unión Europea. El análisis de los sectores bioeconómicos es importante en el análisis de bioeconomía, el analizar los vínculos entre los sectores. Para poder aproximar los efectos de la bioeconomía sobre otros sectores de la economía la Unión Europea desarrolló las matrices de contabilidad social denominadas BioSAM (Mainar *et al.*, 2018). Una de las principales limitaciones en el estudio de la bioeconomía es que no están separados los sectores bioeconómicos de los sectores tradicionales de la economía. En el trabajo mencionado se crean las AgroSAM, en las que en el sector agrícola se separan las actividades bioeconómicas.

Como conclusión y de acuerdo con todo lo mencionado en este apartado, es mucho lo que hay pendiente aún por trabajar en términos de indicadores a nivel mundial con relación a la bioeconomía.

## CAPÍTULO 4. BIOECONOMÍA EN COLOMBIA: CONTEXTO DE ANÁLISIS

### 4.1. Introducción

La bioeconomía en Colombia ha venido cobrando importancia y en los últimos años ha crecido el interés por los análisis económicos ligados a los estudios de impacto de la bioeconomía en Colombia. En el presente capítulo se describe el desarrollo de la bioeconomía en el país.

Se observa en el estudio del sector biotecnológico en la industria colombiana realizado en 2017 en el marco del proyecto BIOS, la gran necesidad de implementación de herramientas de innovación a nivel industrial en el país (Mesa *et al.*, 2017). En este estudio se tomaron como base empresas industriales de los departamentos de Antioquia, Cundinamarca, Valle y del Eje Cafetero, para los sectores alimentos, agroindustrial, salud y cosméticos. De acuerdo con el estudio, entre las empresas encuestadas en el sector de alimentos se evidencia que el 66 % no posee una unidad de investigación y desarrollo y solo el 16 % de las empresas realiza de alguna forma la inversión I+D. En el sector agroindustria se observa que el 57 % de las empresas manifiesta tener unidad de investigación y desarrollo y solo el 9 % de ellas tiene un presupuesto reservado para la investigación y el desarrollo. En el sector cosmético se ve un avance en tanto el 50 % de las empresas cuenta con unidad de I+D. En el sector salud el 83 % de las empresas tiene una unidad de I+D establecida y el 33 % de las empresas tiene un presupuesto asignado. Desde este punto de vista y a la luz de este trabajo doctoral es fundamental analizar el papel de la innovación en el desarrollo industrial.

### 4.2. Políticas de bioeconomía en Colombia

En 2013 se publicó un estudio en el país denominado *Plan estratégico de biotecnología* desarrollado por Colciencias, en el cual se plantea un concepto importante: se habla de los colores de la biotecnología: biotecnología verde (seguridad alimentaria), biotecnología roja (salud), biotecnología blanca (industria), biotecnología azul (marina), biotecnología gris (ambiente). Del

estudio mencionado se generó la **figura 5**, en ella se observa las oportunidades de aplicación de la biotecnología a nivel mundial.

En Colombia, el Programa Nacional de Biotecnología fue creado en 1991, en el CONPES 3967 de 2011 se creó la política nacional para el desarrollo comercial de la biotecnología a partir del uso sostenible de la biodiversidad. También se realizó un fortalecimiento del sector académico e investigación y entre 2009 y 2013 se introdujo el concepto de innovación para la consolidación de la biotecnología en el sector empresarial.

En 2012 se creó la política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación; en 2015 se crea el programa denominado *Biotecnología como motor de desarrollo*. De esta manera se dieron los primeros pasos en el desarrollo de trabajos que tuviesen en cuenta el uso de la biodiversidad y los recursos naturales en la aplicación en ciencia y tecnología.

**Figura 5. Oportunidades biotecnología por sectores**

Agrícola	Alimentos	Cosméticos	Farmacéutico	Textiles
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bioinsumos</li> <li>• Métodos de selección genética</li> <li>• Nuevas variedades</li> <li>• ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alimentos Funcionales</li> <li>• Alimentos Médicos</li> <li>• ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingredientes naturales</li> <li>• Ingredientes bioactivos</li> <li>• Probióticos</li> <li>• Nutricosméticos</li> <li>• ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fitoterapéuticos</li> <li>• Biofarmacos</li> <li>• Biosimilares</li> <li>• Farmacogenética</li> <li>• ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fibras naturales</li> <li>• Textiles inteligentes</li> <li>• Acabados y recubrimientos textiles mediante enzimas</li> <li>• ...</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia a partir del estudio sobre la bioeconomía como fuente de nuevas industrias basadas en el capital natural de Colombia (2018).

A nivel internacional también se observan algunas experiencias, tal es el caso del German Bioeconomy Council, en 2015, cuando se recopilaban en un solo documento las políticas en

materia de bioeconomía para diferentes países, en este documento se resalta el papel que Colombia tiene por la importancia de su biodiversidad que, según se relata, es cerca del 10 % del total mundial. En Colombia se ha puesto especial interés en el tema de políticas de bioprospección forestal. En 2002 se había realizado un documento inicial denominado *Bioprospectiva continental y marina* (Melgarejo *et al.*, 2002). En 2008 se dio a conocer la Política Nacional de Productividad y Competitividad; también se creó la Política Nacional de Fomento a la Investigación y la Innovación en 2008 por Colciencias y la Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación en 2009. Ya en 2011 se crea en Colombia la Política para el Desarrollo Comercial de la Biotecnología a partir del uso sostenible de la biodiversidad (CONPES 3697 de 2011). La biotecnología se constituye como el *Driver* más importante en materia de políticas de bioeconomía en Colombia. Las políticas están basadas en los documentos CONPES (emanados del Consejo Nacional de Política Económica y Social). El Ministerio de Ciencia y Tecnología (Minciencias) y el Departamento de Planeación Nacional ejercen un papel importante en la fundamentación de estas políticas (German Bioeconomy Council, 2015).

En el año 2018, la bioeconomía recibió un impulso importante con el lanzamiento de la política de crecimiento verde mediante el CONPES 3934. Se resalta en esta política el número de estudiantes de maestría y doctorado graduados en áreas de la bioeconomía, además de la necesidad de instituciones que trabajen en la articulación de políticas y gestión de información en estos temas. Se resalta en uno de los apartados que a la fecha de publicación de esta política no se había logrado el fortalecimiento necesario de las entidades involucradas para lograr el impulso en la bioeconomía a nivel nacional y regional (CONPES, 2018). Biointropic, en alianza con algunas instituciones nacionales, financiada por el Banco Mundial y liderada por el Departamento Nacional de Planeación, realizó en 2018 un estudio denominado *Estudio sobre la bioeconomía como fuente de nuevas industrias basadas en el capital natural de Colombia*. Uno de los resultados del estudio fue acotar una definición para la bioeconomía en Colombia, que se describe a continuación. *Bioeconomía: economía que sostiene eficiente y sosteniblemente la biodiversidad y la biomasa para generar nuevos productos, procesos y servicios de valor agregado, basados en el conocimiento y la innovación* (CONPES, 2018, p. 26).

En el CONPES 3934 se resaltan algunas cifras importantes a nivel mundial en temas de bioeconomía: “A nivel internacional se ha identificado la bioeconomía como una fuente valiosa de ingresos, como es el caso de la Unión Europea, en donde este sector aportó el 9 % del PIB en el 2014 generando 18,6 millones de empleos y 2,2 billones de euros en ventas. Cabe resaltar que en Colombia no hay cifras oficiales en el marco de las cuentas nacionales que permitan medir el aporte de la bioeconomía al PIB” (CONPES, 2018, p. 13).

En el capítulo 6 del presente trabajo donde se explica el modelo adoptado para medición de la bioeconomía, se tiene una primera aproximación al aporte de la bioeconomía a la economía del país a nivel del PIB. Dentro de las causas que no han permitido el avance de la bioeconomía en Colombia el documento CONPES 3934 refiere la ausencia de liderazgo institucional para alentar la bioeconomía a que logre el impulso a los sectores asociados; no existen datos registrados en la Plataforma Global de Información GBIF; Colombia es uno de los países con menos datos de códigos ADN generados; la investigación en biotecnología no es tan amplia como en otros sectores tecnológicos, posee 114 grupos de investigación en biotecnología (Agro-bio, 2021); Colombia tiene una inversión de 8,4 billones de pesos en 2020, correspondiente al 0,29 del PIB, según el Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología. A la fecha de realización del documento CONPES 3934 en 2018, aún no se habían lanzado convocatorias en el país relativas a bioeconomía que permitieran el desarrollo de productos derivados del desarrollo de productos asociados a la bioeconomía, la normativa para el manejo de recursos genéticos es otro de los temas prioritarios para el país (CONPES, 2018).

En el CONPES 3934 se proponen las siguientes estrategias para el avance de la bioeconomía en Colombia con relación a las estrategias:

- Línea de acción 1. Definir un esquema de gobernanza que permita coordinar las estrategias y acciones alrededor de la bioeconomía.
- Línea de acción 2. Fortalecer las capacidades de I+D+i en bioeconomía y facilitar la colaboración y la transferencia de conocimientos y tecnologías.

- Línea de acción 3. Apalancar recursos económicos desde los sectores público y privado para impulsar la bioeconomía en Colombia.
- Línea de acción 4. Desarrollar el mercado de bioproductos y mejorar la competitividad en sectores relacionados con la bioeconomía.
- Línea de acción 5. Desarrollar regulaciones adecuadas para promover la bioeconomía.

En los países donde se ha desarrollado la bioeconomía, el sector agropecuario ha sido relevante para su avance. El documento CONPES 3934 en uno de sus apartados menciona la necesidad de implementar lineamientos que permitan mejorar el desempeño del sector agropecuario. La política menciona las siguientes líneas de acción.

- Línea de acción 14. Fortalecer las capacidades para el ordenamiento productivo agropecuario y la producción agropecuaria sostenible.
- Línea de acción 16. Desarrollo de una estrategia orientada a la financiación de proyectos agropecuarios sostenibles.
- Línea de acción 17. Fortalecimiento del mercado para la estimulación de empresas y productos que apalanquen el crecimiento verde.

El desarrollo del capital humano es fundamental para las estrategias de bioeconomía a nivel mundial y para Colombia es prioritario el fortalecimiento de capital humano y de las capacidades en ciencia, tecnología e innovación, así, en el CONPES 3934 se lanzaron las siguientes estrategias:

- Línea de acción 32. Solucionar las fallas del mercado laboral que limitan el desarrollo del capital humano requerido para el crecimiento verde.
- Línea de acción 33. Estimar la generación de empleos verdes.
- Línea de acción 34. Fortalecer las capacidades de I+D+i para el crecimiento verde.
- Línea de acción 35. Promover el desarrollo de emprendimientos innovadores asociados al crecimiento verde.

Una parte fundamental de esta política es el desarrollo de indicadores de resultado de crecimiento verde para medir a largo plazo. Entre estos indicadores se encuentran: i) la participación de la bioeconomía en el PIB, ii) el número de empleos verdes generados, iii) la implementación de la política tiene un costo total estimado de COP (peso colombiano) 2,3 billones, de acuerdo con la política enunciada.

En el año 2020 se lanzó el borrador de la Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2021-2030 emitido por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación y el Departamento Nacional de Planeación, en un documento denominado CONPES Política CTI. La política se fundamenta en tres misiones a 2030:

- **Colombia biodiversa:** innovación basada en la diversidad natural y cultural. Uno de los retos se basa en bioeconomía y la meta planteada para 2030 es hacer que la bioeconomía represente el 10 % del PIB.
- **Colombia productiva y sostenible:** uno de los retos es conducir a Colombia hacia un nuevo modelo productivo, sostenible y competitivo. Se tiene una expectativa de duplicar la participación de la agricultura en el PIB hasta un 13,4.
- **Colombia equitativa:** conocimiento y educación para la inclusión social. Dos de sus retos son conocimiento e innovación para la equidad y educar con calidad para el crecimiento la equidad y el desarrollo humano. Las metas se basan en reducir la desigualdad social y la pobreza multidimensional en Colombia a partir del conocimiento científico y la innovación social, además de culminar la universalización de la educación media diversificada o con doble titulación de bachiller en 2030 (CONPES, 2020).

El presente trabajo aborda los temas relativos a cualificación del capital humano y productividad, que son congruentes con las políticas planteadas en este documento CONPES. En Colombia hay varios vínculos institucionales y políticos entre la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible y la próxima estrategia de bioeconomía. Todos los instrumentos de política en Colombia están vinculados al plan nacional de desarrollo, que también se encuentra alineado a los compromisos de Colombia bajo la Agenda 2030. El DNP es la institución pública que lidera el desarrollo de la

estrategia de bioeconomía y preside el Comité Técnico de Sostenibilidad en Bioeconomía. Además, el DNP está liderando la implementación de la Agenda 2030 a través de la Comisión de ODS. Estos vínculos son relevantes para la sostenibilidad, ya que el cumplimiento de cada objetivo dentro del marco de la Agenda 2030 es de igual importancia. Así, el objetivo debe ser alcanzar todas las dimensiones de sostenibilidad –ambiental, social y económica– en el desarrollo de la estrategia de bioeconomía (Canales *et al.*, 2018).

En 2020 se lanzó una estrategia nacional para el desarrollo de la bioeconomía. Un grupo de entidades con la dirección del gobierno realizó una misión de bioeconomía derivada de la misión internacional de sabios que se realizó en el país en 2019. Este trabajo se realizó de la mano de la Mesa de Bioeconomía del Comité Técnico Mixto de Sostenibilidad. La misión de bioeconomía en Colombia tiene los siguientes objetivos:

- Tránsito hacia una economía basada en el uso sostenible de la biomasa, de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos.
- Sofisticación y diversificación de la oferta exportable de productos y procesos.
- Cadenas de valor para productos de la biodiversidad con alto valor agregado, con enfoque.
- Aprovechamiento de biomasa para la generación de productos, procesos y servicios como la bioenergía.
- Negocios globales, sostenibles y de alto valor agregado.
- Apoyo, formación y generación de conocimiento a lo largo y ancho del territorio nacional.
- Alternativas de desarrollo para el sector rural.
- Incorporación de nuevas tecnologías habilitantes e investigación interdisciplinaria.
- Valoración del conocimiento ancestral, local y tradicional.
- Aumento de la productividad y competitividad de sectores económicos tradicionales.
- Creación de empleos con distintos niveles de calificación en todo el territorio nacional.
- Creación y fortalecimiento de nuevas empresas de base biotecnológica.

El marco de política de bioeconomía para Colombia tiene como proyecto sombrilla la política de crecimiento verde, la cual cuenta con tres elementos: bioeconomía, economía forestal y economía circular. La biodiversidad y los servicios ecosistémicos son el pilar de la política, además de que se espera favorecer el desarrollo territorial y el desarrollo de productos, procesos y servicios de alto valor agregado resultado de los procesos de ciencia, tecnología e innovación.

El marco regulatorio en Colombia consta de varias políticas importantes que se articulan entre sí, las que se pueden mencionar son:

- CONPES 3934: crecimiento verde.
- CONPES 3866: desarrollo productivo.
- CONPES 3975: transformación digital.
- CONPES 4004: economía circular.
- CONPES 3990: potencia bioceánica.
- CONPES de CTI. Política Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación. 2021-2030. (Borrador).
- CONPES de propiedad intelectual (borrador).
- CONPES 4023: reactivación y repotenciación económica y crecimiento sostenible.

En la política se enuncian dos elementos importantes base de la propuesta:

- **Misión.** La bioeconomía se consolida como un motor de desarrollo sostenible para Colombia con enfoque territorial, a partir del aprovechamiento de la biomasa, biodiversidad, continental y oceánica y sus servicios ecosistémicos, que permita el crecimiento, la diversificación, la sofisticación y la descarbonización de la economía, la equidad social, la protección del medio ambiente y la mitigación y adaptación al cambio climático (Política Bioeconomía para Colombia, 2020, p. 20).
- **Visión.** La bioeconomía se consolida como un motor de desarrollo sostenible para Colombia con enfoque territorial, a partir del aprovechamiento de la biomasa, biodiversidad continental y oceánica y sus servicios ecosistémicos, que permita el

crecimiento, la diversificación, la sofisticación y la descarbonización de la economía, la equidad social, la protección del medio ambiente y la mitigación y adaptación al cambio climático (Política Bioeconomía para Colombia, 2020, p. 20).

Entre las metas contenidas en esta política se encuentran:

- La bioeconomía aportará el 10 % al PIB en 2030.
- Desarrollo de 500 bioproductos nuevos.
- Se espera crear 2,5 millones de nuevos puestos de trabajo a 2030 (Política Bioeconomía para Colombia, 2020, p. 39).

Es importante resaltar lo que se proyecta en la política de bioeconomía en Colombia donde se plantea como el año del arranque el 2020, el 2022 como el año del fortalecimiento y el 2026 el año de la consolidación, 2030 el año de la expansión y 2050 el año de la connaturalización (Política Bioeconomía para Colombia, 2020). De acuerdo con la definición de expansión para 2030, se espera que este año exista una bioeconomía sostenible conectada globalmente. El horizonte de análisis del presente trabajo hace simulaciones a quince años de estudio, para el año 2026 se habla en la estrategia de bioeconomía de Colombia de un crecimiento del mercado nacional e internacional y contribución a los ODS, en especial se simulan escenarios relativos a la cualificación del capital humano y la productividad empresarial.

En la política también se resalta el trabajo de Alviar *et al.* (2021), donde los autores realizaron una importante medición de los indicadores de bioeconomía en Colombia y en Antioquia. Los autores realizaron cálculos sobre el porcentaje de valor agregado que aporta la bioeconomía, el porcentaje de empleo que aporta, el porcentaje de emisiones GHC reportados, también el porcentaje de matrícula en programas académicos —nivel de licenciatura y posgrado— este avance es importante toda vez que se constituye en el primer ejercicio de medición del impacto de la bioeconomía a la economía colombiana. El aporte del trabajo de Alviar *et al.* (2021) es importante en la medida en que incluye tanto el aspecto económico como el social y el ambiental. En la medida en que las personas se formen en ciencia y tecnología relacionada con

áreas afines a la bioeconomía, se podrá pensar en un impacto derivado en empleo. Es importante también el esfuerzo que hacen los autores por medir el impacto de la bioeconomía en las emisiones como un elemento de aporte a la sostenibilidad.

En el trabajo se concluye que el sector primario aporta el 52% a la bioeconomía. Los autores plantean que existe un gran potencial en las áreas rurales, que con inversión en educación, ciencia y tecnología podría traducirse en aumento de calidad de ingresos y calidad de vida para sus habitantes. Comparando con el caso de la Unión Europea, el aporte de la bioeconomía puede variar entre 5% al 15% del valor agregado y la estimación sobre el empleo en actividades económicas de base biológica es del 15% (Alviar *et al.*, 2021). En conclusión, los autores mencionados enfatizan en la necesidad de monitorear la bioeconomía a nivel de Colombia con el fin de realizar un marco en políticas públicas.

El presente texto trabaja desde varios frentes, el fomento del capital humano y la inversión para bioeconomía son fundamentales para su desarrollo en Colombia. El país necesita avanzar hacia una bioeconomía que contribuya a la consolidación de una base industrial fundada en tecnología. La biotecnología será clave en la transformación de la industria hacia una bioeconomía. Como se indica en el documento *Estudio del sector Biotecnológico en la industria colombiana* (Mesa *et al.*, 2017) Colombia aspira a que para el 2032 se le reconozca como líder en el desarrollo, producción, comercialización y exportación de productos de alto valor agregado, derivados del uso sostenible de su biodiversidad.

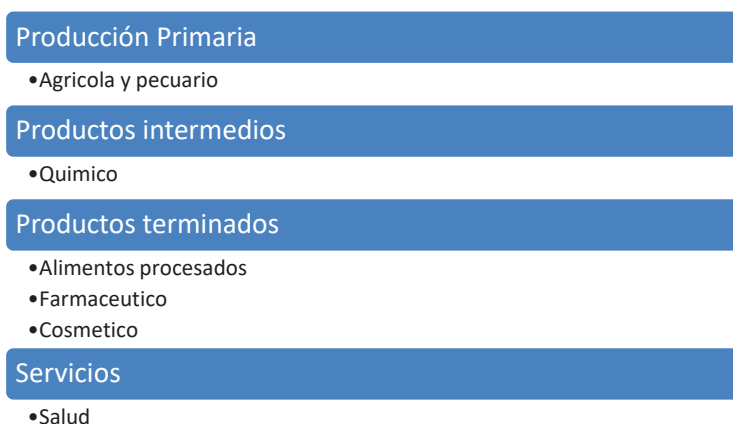
### **4.3 CONPES de crecimiento verde en Colombia**

En Colombia se ha venido haciendo un esfuerzo por impulsar la economía a través de políticas relacionadas con los recursos naturales fue así como a partir de 2017 se impulsó la misión de crecimiento verde. La Misión producirá las bases técnicas para la formulación de la Política de Crecimiento Verde de Largo Plazo, meta del actual Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 *Todos*

por un Nuevo País. En razón a la trascendencia de esta iniciativa, el DNP busca involucrar de manera estratégica al sector privado al trabajo de la Misión (DNP, 2018).

En el estudio de bioeconomía realizado para el departamento nacional de planeación, en el cuál la autora tuvo participación, se definen los siguientes sectores de aplicación como importantes a la luz de la misión de crecimiento verde.

**Figura 6. Sectores de aplicación misión crecimiento verde**



Fuente: Elaboración propia a partir del estudio sobre la bioeconomía como fuente de nuevas industrias basadas en el capital natural de Colombia (2018).

La misión comprende unos ejes estratégicos entre los cuales está la bioeconomía. Estos ejes son: productividad del agua, productividad de la tierra, eficiencia energética y energías renovables, intensidad en el consumo de materiales, bioeconomía, economía forestal, productividad laboral y capital humano y formalización.

Dentro de la misión de crecimiento verde se realizó un proyecto denominado: *Estudio sobre la bioeconomía como fuente de nuevas industrias basadas en el capital natural de Colombia n.º 1240667, fase I*. El proyecto fue financiado por el Banco Mundial para el Departamento

Nacional de Planeación en Colombia y con el apoyo de AFD, la Unión Europea, Korea Green Growth Partnership, Global Green Growth Institute, KFW y la Corporación Alemana. El componente de bioeconomía se realizó en dos fases, lideradas por la Corporación Biontropic desde el 14 de septiembre de 2017 hasta el 24 de agosto de 2018. En la primera fase se realizó el diagnóstico y definición de los sectores estratégicos para Colombia, en la segunda fase se trabajó en las recomendaciones de política en bioeconomía para el país. Este proyecto fue el punto de partida para el análisis de impacto bioeconómicos que se trabaja en toda esta tesis doctoral.

El estudio empezó por acotar la definición de bioeconomía para Colombia; identificó los criterios para la selección de sectores estratégicos en Colombia y la generación de indicadores para el análisis de sectores de acuerdo con los componentes relacionados con: análisis de mercado internacional, análisis de políticas y biodiversidad y capacidades de I+D. Una vez identificados los sectores bioeconómicos se identificaron aquellos con mayor crecimiento e impacto en la producción nacional (Biontropic *et al.*, 2018). El estudio define la bioeconomía como:

“Una estrategia de crecimiento económico basada en bioeconomía es aquella en la que se gestiona de manera eficiente y sostenible la biodiversidad y la biomasa residual para generar nuevos productos, procesos y servicios de valor agregado, basados en el conocimiento y la innovación, que permitan apalancar el crecimiento, desarrollo y progreso en las regiones de Colombia” (Biontropic *et al.*, 2018, p. 5).

Se observa en la definición adoptada para Colombia que el concepto de sostenibilidad se encuentra presente unido a la biodiversidad y biomasa, elementos importantes al hablar de bioeconomía. Además, como se ha relatado anteriormente, la innovación es fundamental para generar procesos de desarrollo económico. Cada país prioriza los elementos que considera importantes para analizar los elementos de la bioeconomía. En el caso de Colombia, el estudio de bioeconomía definió unos criterios cualitativos: ambientales, sociales y económicos para identificar los sectores a los que se les debía dar impulso para potenciar la bioeconomía en el país.

Con relación a las empresas dedicadas a biotecnología en Colombia se resalta lo siguiente según el estudio mencionado:

- 203 empresas desarrollan biotecnología: sector agrícola y pecuario 39 %, soluciones industriales 35 %, salud humana y animal 19 % y soluciones para el medio ambiente 7 %.
- El tejido empresarial se concentra en sectores agrícola y pecuario. Alimentos procesados, salud humana, construcción y turismo en su orden.
- Las empresas que incluyen innovación biotecnológica en sus procesos son especialmente las de los sectores farmacéuticos y cosméticos.
- Los sectores que incluyen innovación en sus procesos son: alimentos procesados, químicos y cauchos.
- Alimentos procesados, químicos, agrícola y pecuario y cuero son los sectores de más dinamismo internacional.

En el proyecto realizado por el Departamento Nacional de Planeación de Colombia se partió de la identificación de diecisiete actividades económicas potenciales agrupadas en los sectores primarios, la industria manufacturera y los servicios, para una selección final de seis sectores prioritarios en los que se analizaría la bioeconomía. Dentro de los sectores priorizados se contemplaron los siguientes: agrícola y pecuario, alimentos procesados y bebidas, químico, salud, farmacéutico, cosmético y aseo. Los criterios se pueden observar en la **tabla 13**. El estudio presenta una priorización de sectores basada en criterios cualitativos y cuantitativos considerando el aporte a la bioeconomía y su potencial económico según la percepción de los participantes en un taller de priorización que se realizó en un grupo focal de discusión en torno a la bioeconomía en 2018. Los sectores que resultaron priorizados después de análisis en varios escenarios y de discusiones con diversos actores de la sociedad fueron: sectores agrícola y pecuario, alimentos procesados y bebidas, salud, químico, farmacéutico, cosmética y aseo (Biointropic *et al.*, 2018).

Tabla 11. Criterios para definición de bioeconomía en Colombia

Criterio ambiental		
Variable	Indicador	
Aprovisionamiento	Biodiversidad	Número de especies de la biodiversidad
		Hectáreas de especies vegetales nativas identificadas
	Agricultura domesticada tradicional	Producción de cultivos (t/año)
	Biomasa residual	Hectáreas cultivadas
		Producción de biomasa residual (t/año)
Criterio económico		
Variable	Indicador	
Tejido empresarial	Número de empresas totales	
	Número de Empresas bioinnovadoras	
	Número de de clúster por sector	
Comercio exterior	Monto total de exportación	
	Monto total de importación	
Crecimiento económico nacional	Productividad por sector	
	Producción	
	Impuestos (recaudo) por sectores	
	Porcentaje de crecimiento	
Innovación	Número de empresas innovadoras en sentido estricto	
	Número de empresas en sentido amplio	
	Inversión en ACTI	
	Número de doctores ocupados en ACTI en empresas	
Oportunidad de Mercado BIO en el mundo	Número de Maestría ocupados en ACTI en empresas	
	Porcentaje de crecimiento promedio sector BIO en el mundo	
	Ventas mercado mundial BIO/Nicho (USD miles de millones)	
Criterio social		
Variable	Indicador	
Institucionalidad de investigación	Número de centros y grupos de investigación en áreas relacionadas con la bioeconomía	
	Número de centros y grupos de investigación en áreas relacionadas con la biotecnología.	
Conocimiento	Número de patentes concedidas sectores bioeconomía	
	Número de patentes concedidas en biotecnología	
Recurso Humano	Número de estudiantes de maestría y doctorado graduados en áreas de la bioeconomía	
Empleo	Número de empleos totales	
	Número de empleos de calificados	

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se describen varios elementos que distinguen a cada uno de los sectores priorizados según el estudio de Biontropic *et al.* (2018).

- **Sector agrícola y pecuario:** todos los insumos para su funcionamiento provienen del recurso biológico, además de ser gran generador de biomasa residual. El tejido empresarial y la generación de empleo son importantes en este sector, sin embargo, tiene el reto de incorporar innovación a los procesos.
- **Sector de alimentos procesados:** a nivel mundial es uno de los sectores más dinámicos a nivel comercial y tecnológico. Es un sector con gran potencial exportador. Es necesario que el tejido empresarial se adapte a las exigencias del mercado internacional en regulaciones y normas técnicas.
- **Sector salud:** Es uno de los sectores priorizados en la bioeconomía mundial, aunque deben asignarse suficientes recursos desde las políticas públicas para aumentar capacidades tecnológicas. En Colombia es necesario implementar acciones tendientes a consolidar el sector como bioeconómico, ya que posee un tejido empresarial consolidado y es generador de empleo calificado.
- **Sector químico:** se puede constituir como un sector de gran potencial bioeconómico si se traza una política pública para la reconversión de insumos petroquímicos a biológicos.
- **Sector farmacéutico:** la biotecnología se convierte en aliado esencial de este sector, es necesario que en Colombia se genere más inversión a nivel de actividades de ciencia tecnología e innovación por parte de la empresa privada y en las políticas públicas.
- **Sector cosmético y aseo:** es un sector estable, la biodiversidad es un factor de competitividad asociado a este sector y está relacionada con la capacidad de desarrollo de productos.

**Figura 7. Aplicación de la biotecnología en los sectores priorizados en estudio de bioeconomía**

<p><b>Agrícola</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bioinsumos</li> <li>• Métodos de selección genética</li> <li>• Nuevas variedades</li> <li>• ...</li> </ul>	<p><b>Alimentos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alimentos Funcionales</li> <li>• Alimentos Médicos</li> <li>• ...</li> </ul>	<p><b>Cosméticos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingredientes naturales</li> <li>• Ingredientes bioactivos</li> <li>• Probióticos</li> <li>• Nutricosméticos</li> <li>• ...</li> </ul>	<p><b>Farmacéutico</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fitoterapéuticos</li> <li>• Biofarmacos</li> <li>• Biosimilares</li> <li>• Farmacogenética</li> <li>• ...</li> </ul>	<p><b>Textiles</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fibras naturales</li> <li>• Textiles inteligentes</li> <li>• Acabados y recubrimientos textiles mediante enzimas</li> <li>• ...</li> </ul>
<p><b>Salud</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Medicina personalizada</li> <li>• Diagnósticos genéticos y moleculares</li> <li>• Biodispositivos</li> <li>• Terapia genética</li> <li>• Bioinformática</li> <li>• ...</li> </ul>	<p><b>Energía</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bioenergía</li> <li>• Biocombustibles</li> <li>• Biogas</li> <li>• ...</li> </ul>	<p><b>Ambiente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Biorremediación</li> <li>• Conservación de la Biodiversidad</li> <li>• ...</li> </ul>	<p><b>Química</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Química verde</li> <li>• Biopolímeros</li> <li>• Bioinsumos</li> <li>• ...</li> </ul>	<p><b>Construcción</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Biomateriales</li> <li>• Biotransformación de residuos</li> <li>• Biocompuestos</li> <li>• ...</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

En el presente trabajo se realiza el análisis de escenarios para la economía y para estos sectores centrados en simular el comportamiento de la economía con políticas que impulsen la generación de empleo, la formación de recurso humano y el cambio de destino de la inversión en sectores bioeconómicos. También se extrae de este estudio el potencial de aplicación de la biotecnología en cada uno de los sectores, que puede verse en la **figura 7**. De esta forma hemos dado un repaso por los avances de bioeconomía en Colombia y cómo se ha ido avanzando en políticas públicas que promuevan el impulso de la economía.

## CAPÍTULO 5. INTRODUCCIÓN A LA APLICACIÓN DE UN MODELO DE EQUILIBRIO GENERAL PARA COLOMBIA

### 5.1. Contexto de aplicación

Este trabajo presenta la aplicación de un modelo de equilibrio general computable desarrollado por el profesor Jesús Botero y un equipo de la Universidad Eafit desde 2011 y consolidado a través de múltiples trabajos posteriores. La aplicación se hace para la bioeconomía en Colombia, y corresponde parcialmente a una consultoría realizada para el Departamento Nacional de Planeación de Colombia y financiado por el Banco Mundial, liderado por Biontropic, Universidad Eafit, SILO y Corporación Universitaria Lasallista.<sup>2</sup>

En el estudio realizado en 2018 se plantea un escenario base con las siguientes características. El objetivo final de la política de desarrollo propuesta es que la bioeconomía aporte el 50 % de la producción agropecuaria formal, para 2030; el 10 % de la producción de químicos; y el 4 % de farmacéuticos y cosméticos, por considerar que estos últimos tienen en el país un desarrollo más incipiente que el que tienen en las economías avanzadas, principalmente representadas en la OCDE. Se asume que, en la cadena de servicios de salud, se alcanza la misma participación que en la industria farmacéutica, y que, en la producción general de alimentos, el 6 % estará relacionada con biotecnologías. Tal escenario enfatiza la importancia del sector agropecuario en el desarrollo futuro del país, y refleja el hecho de que será más fácil adoptar biotecnologías en un sector sujeto ya a profundos cambios estructurales, como el agropecuario, que, en otros sectores, en los que las transformaciones productivas se toman quizás más tiempo. Con dichos supuestos, la meta es que la bioeconomía tenga un aporte del 2,1 % del PIB, en 2030 (DNP, 2018).

---

<sup>2</sup> El resultado de la consultoría dio lugar al estudio titulado: *Estudio sobre la bioeconomía como fuente de nuevas industrias basadas en el capital natural de Colombia, 2018*, sobre el que se basa el trabajo de campo utilizado para esta tesis doctoral.

El escenario base fue el punto de partida para el presente trabajo a partir del cual se analizan diversos escenarios de política pública y las implicaciones de cada uno de ellos en los indicadores económicos. Es importante entonces plantearse la pregunta: ¿Cómo potenciar el desarrollo de Colombia hacia una bioeconomía, que favorezca el desarrollo económico y social de su población con base en sus recursos biológicos y su biodiversidad? Lo anterior es posible cuando se piense en una estrategia productiva que favorezca el desarrollo de algunos sectores productivos hacia una bioeconomía.

Para analizar estos comportamientos de la economía se realizan simulaciones con base en el modelo de equilibrio general computable dinámico recursivo del profesor Botero de la Universidad Eafit, valga recordar que el modelo fue calibrado para el año 2015 y usado para el estudio del DNP denominado: *Estudio sobre la bioeconomía como fuente de nuevas industrias basadas en el capital natural de Colombia, 2018*. En el mencionado estudio se realizó una situación base en el cual se determinó la reasignación de la inversión a la bioeconomía en algunos sectores de la economía. Con el modelo mencionado se realizaron ejercicios de simulación de la trayectoria de la economía en un período de quince años, evaluando el impacto de dicha reasignación y de la reducción de impuestos que la incentiva, al tiempo que se evalúa también una política educativa para incremento de mano de obra calificada, que destina un porcentaje del PIB a políticas de educación, impactando la distribución de la renta entre los diversos tipos de hogares analizados en el modelo. Las políticas públicas evaluadas son:

- Reducción de impuestos para fomentar inversión en sectores *bio*.
- Política educativa: incrementar en 4,9 millones de personas la mano de obra calificada, a un costo de 16 millones per cápita.
- Destinar del 0,5 % del PIB a políticas de innovación, que incrementen la productividad total de los factores en 0,5 % anual, pasando de un incremento de 2 % anual, a uno de 2,5 % en todos los sectores.
- Análisis de efectos redistributivos generados por las políticas anteriores.

La bioeconomía ha venido cobrando relevancia en los últimos años y se consolida en el país con el CONPES 3934 de crecimiento verde, aprobado por el Consejo Nacional de Política Económica y Social del Departamento Nacional de Planeación día 10 de julio de 2018. Este tipo de políticas han apoyado la consolidación de la bioeconomía en Colombia. A partir del estudio sobre bioeconomía como fuente de nuevas industrias basadas en capital natural de Colombia (DNP *et al.*, 2018), se seleccionaron los sectores que se tomarían en Colombia para este primer estudio. Partiendo de la matriz oferta utilización a seis dígitos suministrada por el DANE y a partir de todo un trabajo cualitativo y cuantitativo se definieron seis sectores base para el estudio:

“Los principales hallazgos ilustran que las actividades agrícolas, los alimentos procesados, y los sectores químicos, farmacéutico, de energía y de salud representan un alto potencial de desempeño bioeconómicos en la economía colombiana. Sin embargo, se identifican sectores que requieren de mayores esfuerzos empresariales e institucionales, que podrían resultar estratégicos según el dinamismo de las actividades BIO en el contexto internacional: cosméticos, turismo y tratamiento de residuos” (DNP *et al.*, 2018, p. 48).

Se observa en la literatura que el interés por el tema de la bioeconomía ha venido creciendo. Sin embargo, pocos estudios se han realizado sobre la medición del impacto socioeconómico de la misma y su contribución a los indicadores de desarrollo económico, tal como se afirma en D’Adamo *et al.* (2020), los indicadores socioeconómicos no son debidamente analizados en la literatura, sin embargo, en el trabajo realizado por estos autores se hace una propuesta importante para medición de este indicador. Es importante resaltar de este trabajo las variables que se toman en cuenta para el indicador:

- El volumen de negocios (código V12110 en Eurostat. Estadísticas estructurales de negocios) comprende las ventas en el mercado de bienes o servicios suministrados a terceros, incluidos todos los derechos e impuestos sobre los bienes o servicios (con excepción del IVA) y todos los demás cargos (transporte, embalaje, etc.) a los clientes.
- El valor agregado (código V12150 en Eurostat. Estadísticas estructurales de negocios) mide el ingreso bruto de las actividades operativas después de ajustar por subsidios

operativos e impuestos indirectos. También se consideran los ajustes de valor (por ejemplo, depreciación).

Alviar *et al.* (2021) publicaron un trabajo donde se plantea un modelo de medición de cinco indicadores de bioeconomía para Colombia y Antioquia. Según los autores no hay un consenso en cuanto a la medición del impacto de la bioeconomía, comentan los autores que hay literatura que resalta la importancia de los sectores en el total de la economía, también las matrices insumo/producto donde se puede observar cómo los diversos sectores usan recursos biológicos. La nomenclatura *statistique des activités économiques dans la Communauté européenne* (NACE), y la clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU), pueden usarse para medir la contribución de la bioeconomía al valor bruto agregado, permitiendo que se pueda implementar en varios países que dispongan de este sistema (Alviar *et al.*, 2021).

Tomando otra de las dimensiones de la bioeconomía relacionada con la sustentabilidad, existen diversos autores que han realizado mediciones en este campo. Según los investigadores también se han realizado mediciones en Europa sobre los recursos invertidos en investigación, redes de investigación, plataformas tecnológicas, proyectos, grupos, entre otros (Alviar *et al.*, 2021). Sin duda son importantes los aportes dados en la teoría económica desde Walras (1874) y Leontief (1941) en particular los modelos *input-output* impuestos por este último, que fueron la base de desarrollos posteriores, para dar paso a los modelos de equilibrio general. Los cambios en la política económica han sido plasmados en modelos de equilibrio general:

“Podemos decir que los modelos de equilibrio general han sido tradicionalmente empleados para analizar los efectos de cambios en la política económica, como la imposición de una tarifa o cuota sobre bienes importados, la aparición de subsidios a la exportación o la modificación del impuesto sobre la renta. Igualmente. útiles para estudiar las consecuencias de un incremento en el precio o reducción en la oferta de bienes importados como el petróleo, los efectos de caídas inesperadas en la oferta de bienes, o una mayor regulación en el sector industrial” (Cardenete, 2009, p. 4).

Dada una determinada política se intenta predecir a través de los modelos los cambios que serán inducidos por los efectos de estos choques de política en los niveles de ingresos, demandas, precios, bienestar, renta, entre otras variables. Por lo tanto, el equilibrio viene caracterizado por un conjunto de precios relativos y unos niveles de producción de cada industria para los cuales la demanda de mercado iguala la oferta para todos los bienes. El supuesto de que los productores maximizan beneficios implica que en el caso de rendimientos constantes a escala ninguna actividad ofrece beneficios económicos positivos a los precios de mercado.

Calcular el valor de los parámetros asociados al modelo es imprescindible para la realización de simulaciones en torno al mismo. Ello normalmente se deriva de los métodos de calibración o estimación econométrica:

“Una vez determinada la estructura del modelo es necesario especificar los parámetros de las funciones que permiten hacerlo operativo. No pocos han sido los artículos dedicados al estudio de los procedimientos de especificación numérica antes del cálculo del modelo. Podemos resumir las principales formas de obtención de dichos valores en dos: procesos de calibración determinista y estimación econométrica” (Cardenete, 2009, p. 6).

La calibración de los modelos se basa principalmente en las *Social Accounting Matrix* (SAM), de la economía que se está analizando (Cardenete, 2009). En ocasiones la desagregación de los sectores económicos en el modelo suele ser una de las principales limitantes en el uso de este tipo de herramientas. La consistencia de los datos es un problema que se presenta en algunas situaciones. Entre las limitaciones más comunes en el modelo se pueden mencionar los siguientes: el modelo en sí mismo, la desagregación, los datos y valores de los parámetros, el contraste y la validación del modelo y la forma de transmitir los resultados.

Usar un modelo de equilibrio general para la aplicación a la economía colombiana es importante desde el punto de vista de la medición del impacto de políticas bioeconómicas a nivel

de Colombia. Una de las mayores virtudes de los modelos de equilibrio general es su capacidad para explicar las consecuencias de grandes cambios en un sector particular, en relación con la economía en su conjunto. Las consecuencias de un cambio en una política económica son analizadas frecuentemente asumiendo que los cambios son pequeños y usando aproximaciones lineales basadas en estimaciones de las elasticidades relevantes.

Según los autores descritos anteriormente la aplicación de modelos de equilibrio general a nivel internacional ha pasado por los siguientes temas:

- Análisis de políticas fiscales
- Análisis de políticas comerciales
- Análisis de políticas migratorias
- Análisis de políticas interregionales
- Análisis de políticas agrarias
- Análisis de políticas de estabilización
- Modelización en competencia imperfecta
- Modelización de intercambios intertemporales
- Modelización del medio ambiente
- Modelización con modelos multicriterios.

Cuando se habla de crecimiento económico se tiende a pensar que políticas públicas serán más eficaces para promover e impulsar el crecimiento económico de una nación, país o región, entonces vale la pena revisar algunos de los postulados del crecimiento económico, para intentar responder que políticas serán efectivas cuando se piensa en impulsar la bioeconomía en Colombia. Retomando la definición tomada del libro *Política económica* de Andrés Fernández y otros autores en 2006, en la cual se piensa en el crecimiento económico como el impulsor de bienestar económico en el largo plazo: “La política de crecimiento económico trata de identificar y potenciar aquellos factores que determinan el cambio en la dimensión de una economía en el largo plazo y más concretamente en su nivel de renta, actividad o producción real “, (Fernández *et al*, 2006, p. 313).

Según los postulados de Perroux (1988), como se citó en Fernández *et al.*, (2006), el crecimiento no puede darse sin que haya cambios estructurales. Los países en desarrollo deben adoptar políticas económicas que realicen cambios en su estructura productiva, que proporcionen mecanismos para dirigir los recursos escasos de la economía hacia los sectores más productivos.

El presente trabajo se basa en estos conceptos, al analizar diversas estrategias que pueden originar cambios estructurales en la economía y, por ende, pueden llevar al crecimiento en el largo plazo. De acuerdo con el desarrollo del presente trabajo, es necesario abordar también el concepto de la productividad total de los factores y su aporte al crecimiento económico de los países. La productividad total de los factores ha sido ampliamente estudiada desde el trabajo de Solow en 1957 cuando define la función agregada de producción según la siguiente ecuación (Solow, 1957).

$$Q = F(K, L; t)$$

En la ecuación anterior, “t” permite el cambio tecnológico, originado en mejoras en la educación, fuerza de trabajo y otras que puedan contribuir a este factor. De este trabajo en adelante se ha usado con frecuencia la siguiente función de producción que también fue introducida por el mismo autor y que define el factor multiplicativo A(t) como el efecto acumulado de los cambios a lo largo del tiempo (Solow, 1957).

$$Q = A(t)f(K, L)$$

Estas ecuaciones han derivado diversos estudios posteriores que han permitido relacionar estos conceptos con el crecimiento económico. En el presente trabajo se aborda este concepto puesto que, de acuerdo con lo estudiado en capítulos anteriores, las políticas económicas que se propongan para la bioeconomía deben ser coherentes con las teorías económicas basadas en estos postulados.

El Banco de la República en Colombia ha dedicado recursos a estudiar el tema de productividad total de los factores para el país, el presente trabajo tiene en cuenta la definición dada por investigadores de esta institución quienes definen el concepto de la siguiente forma:

“La PTF es un indicador de la capacidad de una economía para combinar sus recursos productivos disponibles, como el tiempo de las personas (trabajo calificado y no calificado), las máquinas y la infraestructura (capital) y otros recursos (como la tierra o recursos naturales) para producir bienes y servicios. Si dos economías emplean exactamente la misma cantidad de recursos productivos, la economía con una PTF más alta alcanza una mayor producción de bienes y servicios” (Hamann *et al.*, 2019, p. 5).

Según los autores, el tema de la productividad total de los factores es uno de los grandes desafíos que enfrenta Colombia para su crecimiento. En el presente trabajo también se le da una gran importancia a este concepto y su relación con las políticas económicas que se planteen para la bioeconomía en Colombia.

Diversos investigadores han intentado explicar los comportamientos a nivel macroeconómico el efecto de las políticas públicas en la productividad total de los factores y la producción. Para el Consejo Privado de Competitividad la productividad total de los factores ha venido evolucionando de la forma que se muestra en la **tabla 12**.

**Tabla 12. Evolución productividad total de los factores**

PAÍS	2000	2015
Argentina	100	100
Brasil	100	102
Chile	100	84
Colombia	100	104
México	100	85
Perú	100	113

Fuente: elaboración propia a partir de Consejo Privado de Competitividad y Universidad de Los Andes (2016).

Cuando se observan estos datos de la productividad factorial, es necesario pensar cuáles acciones podrían contribuir a elevar este valor y a fomentar el crecimiento de la economía. El Consejo Privado de Competitividad de Colombia sugiere lo siguiente en su informe de 2016:

“Los resultados sugieren que, en comparación con economías desarrolladas, la economía colombiana muestra una menor capacidad de concentrar actividad económica en los productores con mayor productividad, que va de la mano de una menor capacidad para reducir la participación o eventualmente llevar a la clausura de los menos productivos. Esto apuntaría a que existe una oportunidad aún no aprovechada para cerrar parcialmente esas brechas, eliminando obstáculos a la reasignación de los recursos productivos en función de la productividad, en especial aquellos que incentivan la preponderancia de establecimientos pequeños y poco productivos o, en el otro lado del espejo, penalizan el crecimiento empresarial.” (Consejo Privado de Competitividad y Universidad de Los Andes, 2016, p. 36).

Vale la pena retomar elementos importantes de la definición acotada de bioeconomía para Colombia, en la cual se resalta el papel de los recursos naturales como base para el crecimiento:

“Una estrategia de crecimiento económico basada en bioeconomía es aquella en la que se gestiona de manera eficiente y sostenible la biodiversidad y la biomasa residual para generar nuevos productos, procesos y servicios de valor agregado, basados en el conocimiento y la innovación, que permitan apalancar el crecimiento, el desarrollo y el progreso en las regiones de Colombia.” (Biontropic *et al.*, 2018, p. 23).

El generar nuevos productos y servicios con valor agregado, que permitan producir crecimiento económico es la base fundamental de este trabajo de tesis, el pensar en bioeconomía hace considerar cómo combinar los recursos productivos para hacer que las empresas sean más productivas y por ende contribuyan al impacto en el PIB y demás indicadores económicos en el país. Son muchos los autores que han estudiado el tema de la productividad en Colombia. El Banco

de la República en diversos documentos ha escrito sobre el tema, uno de los trabajos titulado *Productividad de los factores y eficiencia en el uso de los recursos productivos en Colombia*, realizado en 2017 considera algunos apartes importantes que se mencionan a continuación: “si dos economías emplean exactamente la misma cantidad de recursos productivos, la economía con una PTF más alta alcanza una mayor producción de bienes y servicios” (Hamann *et al.*, 2019, p. 5).

El capital, el cambio técnico y el capital humano pueden ser variables importantes en la contribución a la productividad de los factores. Al respecto, Gaviria (2007) encontró lo siguiente:

“Aunque la teoría reconoce la importancia de la acumulación de capital humano en la explicación del crecimiento económico, la evidencia empírica nacional e internacional resulta poco robusta. Ello se puede explicar por las complementariedades factoriales, las cuales suponen una interacción entre la acumulación de capital humano y el cambio técnico al momento de determinar la dinámica del crecimiento económico, de manera que no es posible medir cuál es su verdadera contribución sin considerar dicha interrelación” (Gaviria 2007, p. 70).

Diversos estudios han demostrado que el término productividad debe ser abordado por las economías latinoamericanas para intentar crecer significativamente sus economías. Según estudios realizados por Hofman *et al.* (2017) en *Crecimiento económico y productividad en Latinoamérica*, se concluye que algunas de las economías latinoamericanas enfrentan grandes dificultades para aumentar su productividad. Se analizaron las economías de Argentina, Brasil, Chile, Colombia y México. Concluye este estudio que el crecimiento en América Latina ha sido relativamente bajo en los últimos veinte años<sup>3</sup>. Los autores del estudio basado en el proyecto L-KLMS, incorporaron dentro de su análisis la productividad total de los factores.

---

<sup>3</sup>Los datos se encuentran disponibles en la base de datos LA-KLEMS, promovida por la iniciativa WORLD-KLEMS.

Estos son algunos de los tópicos analizados. Respecto al capital, el esfuerzo de inversión realizado por los cinco países en cuestión estuvo por debajo del observado en los países asiáticos con niveles similares de desarrollo. La mayor parte de los países atravesó una fase de contracción en la proporción GFCF/VA, (lo anterior significa formación bruta de capital fijo por sus siglas en inglés), hacia fines de los años noventa y comienzos del nuevo siglo, de la cual se recuperó a finales del periodo estudiado. Al igual que ocurre en la mayoría de los países en general, las áreas en las que estuvo concentrada en mayor grado la inversión fue la de los activos inmuebles — residencial y otras construcciones—, seguida por la de otra maquinaria y equipo y por la de equipo de transporte. Debe advertirse que un rasgo importante de LA-KLEMS es que suministra información sobre la distribución de GFCF según el sector de actividad económica y sobre los activos TIC. La inversión está destinada principalmente a los sectores de servicios en general, los cuales no son comercializables y, en muchos casos, están regulados. El hecho de que la inversión se concentre en los sectores protegidos o no comercializables y regulados implica que encierra un menor potencial para el crecimiento a largo plazo, si se toma en cuenta además que, en términos generales, esos sectores tienen menos incentivos para la innovación debido a que la competencia es menos acusada.

Otro elemento que resaltan los autores es la falta de productividad derivada en la productividad total de los factores negativa durante los últimos veinte años para los países analizados, esto se deriva en un funcionamiento ineficiente de las economías y una incapacidad para adelantar un progreso técnico (Hofman *et al.*, 2017). Promover el cambio estructural en las economías como la colombiana puede ser una solución a largo plazo para inducir al crecimiento. Los autores sugieren que una salida puede ser reasignar los recursos productivos a los sectores con una productividad total más alta de los factores. Hay otros recursos que son escasos, como el trabajo calificado. Se deben eliminar las restricciones a recursos, se debe aumentar la calificación de las personas puesto que el trabajo calificado es un recurso escaso.

La innovación se presenta como un elemento clave para el desarrollo económico, diversos autores han escrito sobre el tema, uno de los más representativos es Schumpeter, quien trata de explicar en su trabajo el origen de los ciclos económicos:

“En contraste, Schumpeter (1957) colocó la innovación como el centro de la explicación de los ciclos. En este caso los ciclos económicos son de tipo Kondratieff, donde las nuevas combinaciones permiten la aparición de nuevas tecnologías, estimulando de esta forma la inversión, la demanda y el empleo. Schumpeter ubicó en el centro de estas innovaciones al empresario, siendo este el que en última instancia puede superar los problemas del equilibrio estacionario, sin embargo, el empresario pierde esta característica cuando realiza su gestión de manera rutinaria ya que cuando se generaliza este comportamiento en el tejido empresarial, se condena a la economía a mantenerse dentro de su tendencia de largo plazo.” (Hurtado Rendón *et al.*, 2011, p. 7).

Los modelos de equilibrio han sido estudiados por diversos autores desde múltiples enfoques del ciclo económico como se observa en el trabajo de Hurtado Rendón *et al.* en 2011. Estos investigadores han analizado los siguientes enfoques del ciclo económico: el ciclo como fenómeno exógeno, el ciclo como fenómeno exógeno con *stock* de demanda y también con interrelación entre el multiplicador y el acelerador, el ciclo como fenómenos dado por *shock* de oferta y demanda, ciclo dado como *shock* tecnológico y de trabajo, afirman además que los modelos de equilibrio dinámicos estocásticos (DSGE) se usan cuando es necesario hacer simulaciones de escenarios de política pública con los cuales se pueda pronosticar el comportamiento económico (Hurtado Rendón *et al.*, 2011).

Por otro lado, gran cantidad de la literatura macroeconómica utiliza modelos agregados de un sector para explicar el ciclo económico y las propiedades de largo plazo de una economía, para este hecho se valen de modelos que consideran hogares representativos (Hurtado Rendón *et al.*, 2011). Un enfoque alternativo es el de los modelos de equilibrio general computable (CGE, por sus siglas en inglés), que permiten un análisis sectorial cuidadoso, ya que se basan generalmente

en matrices de contabilidad social detalladas (SAM, por sus siglas en inglés). En el estudio mencionado para el Departamento Nacional de Planeación se utilizó el modelo de equilibrio general computable de Botero (2017), que sirve de base también para las aplicaciones del presente trabajo. El modelo planteado para el estudio del DNP se basa en dos enfoques, pero el estudio realizado y el presente trabajo se hace desde el primer enfoque:

“La evaluación de esas políticas puede hacerse desde por lo menos dos enfoques:

i) el que podemos denominar “enfoque económico”, que evalúa las consecuencias estrictamente económicas de las políticas propuestas, y que busca, ante todo, cuantificar los cambios en la asignación de recursos inducidos por las políticas y sus efectos sobre las variables macroeconómicas fundamentales, entre ellas, la inversión, el PIB, el empleo y las exportaciones; y ii) el que pudiéramos llamar “enfoque ambiental” que se dirige en cambio a evaluar los impactos ambientales de las políticas, las variaciones en las emisiones que se generan, y los temas de sostenibilidad ambiental asociados a ellas.” (Biointropic *et al.*, 2018, p. 155).

Por su parte, para Botero *et al.* (2018) el crecimiento y el desarrollo económico dependen, fundamentalmente, de tres elementos esenciales: el uso de los factores productivos naturales, como tierra y trabajo; la acumulación de factores productivos que dependen de la gestión productiva, como capital físico y humano; y la productividad con que esos factores se combinen en los procesos productivos, lo que se denomina en la literatura “productividad total de los factores”. Esta depende, a su vez, de tres elementos básicos: la productividad al interior de la firma, que se logra por la mejora en la eficiencia operativa (producir lo mismo con menores recursos) o por el aumento del valor agregado producido (mayor valor con los mismos recursos); la asignación de recursos entre las firmas en un mismo sector (lo que se denomina en la literatura económica “eficiencia asignativa”); y la transformación de la estructura productiva, que se plasma en el desarrollo de sectores más eficientes y más competitivos, a costa de sectores de baja productividad (Biointropic *et al.*, 2018).

Cuando se habla de bioeconomía, es necesario pensar en los recursos naturales y en su gestión dentro de una economía. ¿Cuáles se deben redistribuir para mejorar la productividad y generar valor agregado en las cadenas de valor? Son dos tipos de capital los que se deben asignar y redistribuir: el capital físico y humano. En la fundamentación del presente trabajo se analiza la bioeconomía como un área de conocimiento que puede generar transformaciones estructurales en una economía. En el estudio publicado por el DNP en el marco de la política de crecimiento verde se propone la reasignación de recursos en la economía de tal forma que ciertos sectores económicos puedan aumentar su productividad basados en la bioeconomía:

“Es decir, la mejora en la “productividad total de los factores”, en su forma de reasignación de recursos entre sectores, a partir de la generación de mayor valor agregado, en bienes diferenciados y de alto dinamismo de demanda en la economía global” (Biointropic *et al.*, 2018, p. 157).

Los efectos que las orientaciones de algunos sectores de la economía hacia la bioeconomía pueden generar en la economía nacional serán importantes en la medida en que las políticas públicas favorezcan la asignación de estos recursos en todas las dimensiones:

“Ahora bien: ¿cómo opera este proceso? Las políticas públicas implementadas en las diversas dimensiones (regulatoria, tecnológica, financiera y de inversión, de infraestructura, de mercado y de talento humano) deben propiciar que los recursos de capital se reorienten hacia la bioeconomía, desarrollando actividades de mayor valor agregado, y a través de la cuales el país puede insertarse en mercados globales de mayor dinamismo y mayor diferenciación. Ello se refleja en mayores exportaciones, pero también, en incrementos del producto y del empleo, asociados a la mayor productividad que se alcanza con la transformación productiva” (Biointropic *et al.*, 2018, p. 157).

La innovación empieza a jugar un papel importante en las políticas de bioeconomía, algunos autores sugieren que la innovación, para Corrado y Sala (2018) el desarrollo de sectores innovadores de bioeconomía (es decir, materiales de base biológica, bioenergía, etc.) requiere el

esfuerzo conjunto de todas las partes interesadas, incluidos los ciudadanos, las instituciones públicas y la industria. Se hace necesario que desde las políticas públicas se incluya el tema de innovación ligado al desarrollo de sectores potenciales para el crecimiento y desarrollo de la sociedad. Se sugiere en la literatura emergente que los sectores primarios deben evolucionar hacia una transición a la bioeconomía. D'Adamo *et al.* sugieren lo siguiente:

“Siguiendo esta dirección, se podrían emprender algunas acciones: i) aumento del capital humano; ii) fomentar las innovaciones tecnológicas y iii) promover actividades de I + D. Además, con el fin de proporcionar una evaluación exhaustiva para el desarrollo de la bioeconomía, los responsables políticos deberían facilitar la recopilación de datos armonizados con respecto, por ejemplo, a la eficiencia de los recursos, el cambio climático y la ecoinnovación. La metodología presentada en este trabajo podría utilizarse para agregar todos estos parámetros a fin de proporcionar el puntaje general de sostenibilidad de un país para la bioeconomía. Tanto los actores industriales como los responsables políticos podrían explotar estos resultados para tomar decisiones más informadas” (D'Adamo *et al* 2020, p.10).

Este trabajo toma como base un modelo de equilibrio general computable, en el cual se modela el impacto de la bioeconomía ante cambios en el sistema productivo, tal como lo sugieren trabajos como el mencionado anteriormente. Modelar el impacto económico y social en los tiempos actuales se hace fundamental para asegurar la sostenibilidad de las generaciones futuras.

## CAPÍTULO 6. BIOECONOMÍA UNA APLICACIÓN EMPÍRICA DE UN MODELO DE REVISIÓN DE IMPACTO EN COLOMBIA

### 6.1 Introducción

Este capítulo plantea los elementos principales del modelo de equilibrio general utilizado para simular los impactos de las políticas de bioeconomía que se puedan adoptar en la economía colombiana. Simular los impactos de las políticas de bioeconomía en los países es muy importante si se consideran los Objetivos de Desarrollo Sostenible planteados para 2030, con los cuales se espera contribuir de manera significativa a reducir brechas de pobreza y desigualdad a nivel mundial. En el capítulo 3 se habían mencionado algunos de los trabajos que se ha realizado alrededor de este tema a nivel mundial.

Desde el 2008, Colombia ha venido evolucionando en materia de políticas de bioeconomía y biotecnología, sin embargo, no se han realizado estudios suficientes que permitan evaluar el impacto de las políticas implantadas hasta el momento. Este trabajo realiza un aporte en cuanto a la evaluación *ex ante* de políticas en materia de bioeconomía. Desde un modelo de equilibrio general computable con base en el año 2015, se simulan una serie condiciones de la economía colombiana ante choques de política.

El modelo usado en el presente trabajo tiene la finalidad de evaluar las consecuencias — en términos macroeconómicos— de la implementación de políticas encaminadas a la implantación de la bioeconomía por medio del planteamiento de un modelo de equilibrio general computable donde se evalúan las consecuencias de las políticas propuestas por medio de la cuantificación de los cambios en la asignación de recursos y su impacto sobre variables macroeconómicas fundamentales y de ingreso en los subgrupos poblacionales rural y urbano. De esta manera se quiere plasmar cómo a través de la creación de nuevas industrias cuyo capital se basa en recursos naturales sostenibles, el país puede avanzar hacia una transformación de su industria productiva,

por medio del correcto uso de los recursos naturales para que la producción sea sustentable y sostenible (Departamento Nacional de Planeación, 2018).

A partir del modelo propuesto se analizan tanto la innovación como el desarrollo del capital humano que sirve de base para la generación de políticas productivas, y su impacto sobre la canasta exportadora, haciendo que el país tenga la posibilidad de insertarse en nuevos mercados internacionales mediante el valor agregado de los productos en la cadena productiva. Como resultado de estas políticas se evidencian aumentos en los niveles de empleo, mejoras en el bienestar de la población más vulnerable y un aumento en los niveles de renta de algunos sectores de la población.

De esta manera se espera que a partir del direccionamiento de la atención hacia los recursos naturales de los cuales dispone la economía, haya una correcta asignación del capital físico y humano, con la finalidad de aprovecharlos y generar valor agregado. También se pretende demostrar que es posible generar crecimiento y desarrollo económico a partir de la correcta utilización de los factores productivos, los cuales dependen de la gestión productiva del capital físico y humano, y de la productividad con que dichos factores se combinen en los procesos lo cual se denomina comúnmente como “productividad total de los factores” (DNP, 2018).

Así pues, esta parte del trabajo está organizada de la siguiente manera: la primera sección realiza una introducción relacionada con el uso del modelo de equilibrio general. La segunda sección está compuesta por la motivación de realizar este estudio en el ámbito económico nacional, por una revisión de literatura en donde se enmarca el estudio. En la tercera sección se continúa con la descripción del modelo de equilibrio general computable y la forma como se aborda la bioeconomía en este trabajo. La siguiente parte presenta la estructura del modelo, para luego describir la sectorización del modelo y cómo se aborda el problema desde el aspecto económico. Se continúa con los escenarios de política económica donde se explican las políticas económicas propuestas para modelar la bioeconomía. En la última sección se analizan los efectos distributivos en el escenario de bioeconomía como una de las partes principales de este trabajo doctoral. Finalmente se presentan las conclusiones.

## **6.2 Importancia de la medición del impacto socioeconómico**

Muchos países han implementado políticas de bioeconomía y la medición de impacto en su aplicación es uno de los temas que aún está pendiente por trabajarse en la literatura, aunque hay algunos autores que empiezan a aplicar las herramientas económicas para esta medición con aproximaciones importantes a la determinación del impacto económico.

El profesor Alviar (2021) y su grupo de investigadores realizaron una aproximación importante a la medición de impacto en Colombia. Este es un punto de partida importante para la medición. Ya en esta tesis doctoral se trabaja desde un modelo de equilibrio general para medir el impacto de las políticas públicas en relación con el recurso humano, la productividad y la distribución de renta.

Es importante el análisis de impacto toda vez que es necesario definir hacia dónde disponer los recursos del país para que generen mayor productividad y potencien el desarrollo socioeconómico en los niveles de renta de las familias.

## **6.3 Revisión de literatura sobre los modelos de impacto**

Los modelos de equilibrio general computable estáticos (MEGC) o sus versiones dinámicas más complejas, los modelos de equilibrio general dinámico estocásticos (DSGE en sus iniciales en inglés), dada su capacidad para plasmar las interacciones entre los sectores económicos de un país, han sido ampliamente usados desde mediados del siglo XX, con el objetivo de estudiar los objetivos políticos, la producción y decisiones del sector privado y cómo afectan a la población de un país (Fernández de Córdoba *et al.*, 2012). Es así como los DSGE son usados para hallar consistencia entre perseguir resultados socialmente óptimos mediante la maximización del bienestar social con la evidencia empírica de correlación e interrelación de las variables macroeconómicas fundamentales (Wang, 2019; Brand y Traxler, 2011; Winter y Zweimuller, 1999).

La utilización de los MEGC o DSGE se pueden aplicar en diferentes campos económicos tales como la política fiscal en donde se tiene en cuenta el manejo de los hacedores de política económica a partir del establecimiento de sistemas que tengan en cuenta variables como el gasto público, transferencias fiscales, impuestos e infraestructura del país para afrontar diferentes choques económicos. Esta lógica también puede ser aplicada en otras políticas macroeconómicas como la monetaria y la cambiaria, en políticas sociales como las transferencias condicionadas, y en políticas sostenibles entre las cuales se encuentran las encaminadas a la bioeconomía (Kim y Kim, 2017; Quandrini *et al.*, 2017).

El modelo inicial se basa en la maximización de la utilidad de los hogares, y se tienen en cuenta el consumo y el trabajo per cápita agregado sujetos a una restricción presupuestal. El modelo incluye la dinámica de variables como las exportaciones, el nivel de empleo, el recaudo de los impuestos por parte del gobierno y el gasto, así como, una desagregación por cohortes de subgrupos poblacionales representados en el nivel de ingresos de las zonas rurales y urbanas por deciles (Botero *et al.*, 2013; Córdoba *et al.*, 2012). Los estudios para Colombia que incorporan MEGC para explicar los fenómenos en la bioeconomía son limitados y presentan pocos avances en este campo de investigación. Los estudios existentes son recientes y están aplicados a un grupo pequeño de países que han implementado un camino sustentable y sostenible (Rodríguez *et al.*, 2017).

La focalización del gasto público y las políticas sostenibles en países en vía de desarrollo se han convertido en un tema de interés en torno a dos grandes mecanismos de política económica: i) la redistribución de los recursos y la necesidad de trasladar esfuerzos que consigan mejorar las condiciones de vida de los más vulnerables con la finalidad de obtener resultados socialmente óptimos y sostenibles, ii) el diseño de mecanismos que logren desplazar la oferta agregada de largo plazo generando externalidades positivas sobre la producción y los niveles de empleo, lo que da como resultado mejoras en el bienestar social (Botero y García, 2018).

La investigación teórica sobre las políticas sostenibles y sustentables enfatiza cada vez más las decisiones de las firmas y los gobiernos para comprender las causas y consecuencias sobre los

niveles de productividad y variables macroeconómicas fundamentales (Melitz and Redding, 2014). La investigación en este campo identifica las oportunidades de negocios que tengan las empresas al incluir innovación e ideas de bioeconomía en los mercados internacionales como un elemento esencial para trascender (Leonidou y Katsikeas, 1996; Bernard *et al.*, 2007), junto con su capacidad de adaptación y experiencia adquirida como eje fundamental de posicionamiento en la industria (Leonidou y Adams-Florou, 1999; Greenaway y Kneller, 2007), y los efectos de la productividad y el tamaño de las empresas como un elemento diferenciador en el mercado agregado (Bernard *et al.*, 1995; Roberts y Tybout, 1997; Bernard y Jensen, 1999; Bernard *et al.*, 2007).

De esta manera, la teoría del comercio internacional que analiza la productividad de las empresas y su inserción en el mercado agregado, ha optado por incluir empresas heterogéneas en el análisis de política internacional lo cual ha permitido distinguir de qué manera diferentes niveles de productividad, acordes con diferentes niveles de innovación, afectan la inclusión de los productos de las empresas en mercados internacionales, proporcionando un impulso teórico a los desafíos de la nueva teoría del comercio. Para evaluar los efectos que producen la interacción de firmas en el comercio internacional se ha optado por implementar modelos de equilibrio general, los principales resultados indican que las empresas con mayores niveles de productividad son capaces de participar en el comercio de exportación mientras que las empresas con menores niveles de productividad se quedan en el mercado nacional o son sacadas del mercado (Krugman, 1979). Melitz (2003), adapta el modelo dinámico de industria de Hopenhayn (1992) a la competencia monopolística en un entorno de equilibrio general, el autor plantea una heterogeneidad de las empresas para poder analizar los efectos intraindustriales del comercio internacional. El modelo expone cómo la exposición al comercio inducirá solo a las empresas más productivas a ingresar al mercado de exportación, mientras que las empresas menos productivas seguirán produciendo en el mercado interno, además hay entrada y salida al mercado en función de los diferentes niveles de productividad de las empresas (Krugman, 1979; 1980), asociados a la producción sostenible y sustentable para reducir los costos variables en la producción, lo cual está encaminado a fortalecer las economías con políticas de bioeconomía.

A pesar de que la dinámica de entrada libre de las empresas se establece de manera exógena, la reducción de costos asociados con el comercio tiene dos implicaciones directas en el modelo: i) las ganancias que se exportarán atraerán a un mayor número de empresas que serán determinadas por los más productivos, ii) la reasignación de los recursos aumenta la productividad agregada de los diferentes sectores económicos. Estas implicaciones condujeron a la aparición de diferentes modelos que certifican la idea de que el acceso al mercado internacional depende de las diferencias de productividad entre las empresas (Lawless, 2009; Arkolakis, 2009; Eaton *et al.*, 2008; 2011).

Bernard *et al.* (2003), desarrollaron un modelo ricardiano basándose en el trabajo realizado por Melitz (2003). Se asigna una proporción de la producción de cada empresa al mercado bajo dos supuestos: i) debe ser el productor más eficiente (menos costoso) de la economía y, ii) no hay oferta de productores extranjeros en menor precio, considerando costos netos del comercio. Estas condiciones son las mismas para empresas que logran exportar en el mercado internacional, donde los costos variables son el mecanismo que explican cómo las empresas más productivas son las que logran adherirse al mercado internacional y aquellas que utilizan sus recursos de manera sostenible, por lo que al entrar al mercado son las más competitivas. Las empresas exportadoras tienen mejores resultados que las que no lo hacen porque son más grandes, más intensivas en capital, tienen conocimientos técnicos que las hacen más eficientes y tienen mejor capacidad de adaptación en mercados en donde la innovación y el uso eficiente de recursos limitados es fundamental para poder ser competitivo a nivel internacional (Bernard *et al.*, 2007; Roberts y Tybout, 1997).

Los modelos de equilibrio general han sido ampliamente usados para evaluar los posibles impactos que pueden ser causados por la implementación de una determinada política económica internacional en diferentes sectores y agregados económicos (Devarajan y Robinson, 2005). A pesar de los múltiples esfuerzos por introducir los MEGC según Melitz, 2003, además de los trabajos de Zhai, 2008; Balistreri *et al.* 2011; Oyamada, 2015; Akgul *et al.* 2016; Dixon, *et al.* 2016, los estudios realizados para Colombia son limitados.

Los MEGC implementados en la política comercial de Colombia se han centrado en evaluar acuerdos comerciales unilaterales y regionales. La forma en que se han abordado estos estudios es a partir del desmantelamiento de las restricciones comerciales y la inversión extranjera directa (IED) en algunos sectores de la economía (Bussolo y Roland-Holst, 1999; Agudelo, 2003; Light y Rutherford, 2003; Sánchez y Hernández, 2004; Light, 2004; Botero, 2005; Botero y López, 2004; Pardo *et al.* 2005; Martín y Ramírez, 2005; Vaughan, 2005; Reina *et al.*, 2007; Gracia y Zuleta, 2015; Perfetti y Botero, 2017). Estos estudios destacan en general los riesgos a los que estaría expuesta la economía colombiana en un escenario en que no se firmen acuerdos, dando a las competidores ganancias derivadas de la desviación del comercio y la reasignación de recursos.

En el país no se ha introducido aún el uso de modelos de equilibrio general para simular efectos de política económica en el campo de la bioeconomía, este es el primer acercamiento que se hace en este campo basado en la experiencia del profesor Jesús Botero, que cuenta con una larga trayectoria investigadora relacionada con la aplicación de modelos de equilibrio general. El estudio de estrategias en bioeconomía se ha desarrollado en documentos técnicos por parte del Estado a través de sus entidades públicas, de esta manera se han puesto en marcha diferentes soportes y programas de economía circular y bioeconomía en el país. Esto se ve reflejado en iniciativas como el Programa de Biotecnología, *Colombia bio* y diferentes documentos técnicos tales como el CONPES en áreas de conservación y cambio climático, biotecnología y plan de negocios verde (Departamento Nacional de Planeación, 2018).

El avance en el campo de la bioeconomía es lento en el país y se está encaminando en un proceso a largo plazo para generar propuestas en ciencia, tecnología e innovación, para equipar a los diferentes sectores industriales en Colombia que están sesgados en este campo, lo cual les impide alcanzar su potencial. Este fenómeno se puede explicar cómo la no articulación entre el trabajo intersectorial, como consecuencia de la ausencia en el compromiso a largo plazo por parte de los diferentes gobiernos para generar crecimiento sostenible y sustentable a largo plazo.

Los aportes para generar estudios económicos en el sector de bioeconomía en Colombia aún son escasos, en gran medida porque la información es limitada e insuficiente para poder

establecer investigaciones continuas. A pesar de esto, es posible establecer un punto de partida en la realización de diferentes simulaciones y ver sus efectos en países con información escasa. Es así como Rodríguez *et al.* (2018), estiman participaciones de las exportaciones para países de América Latina y el Caribe con componentes de bioeconomía para el año 2015. En promedio, el total de las exportaciones de los sectores de los productos básicos de agricultura y agroindustria, representaron el 10,3 % para Colombia durante el periodo de 2010-2015 (Rodríguez *et al.*, 2018).

En esta misma línea hay estudios realizados por entidades internacionales como el de la OCDE, que realizó un proyecto denominado *La bioeconomía en 2030* que discute varios escenarios en los que se proyectó que la bioeconomía llegaría a contribuir con el 2,7 % del PIB para el año meta 2030. Se concluye que para este año (2030) “la bioeconomía contribuirá hasta con el 35 % en productos químicos, un 80 % en la producción de elementos farmacéuticos y aproximadamente un 50 % en la producción agrícola” (estudio sobre la bioeconomía como fuente de nuevas industrias basadas en el capital natural de Colombia, 2018, p.7).

El planteamiento de modelos basados en bioeconomía para la economía colombiana es fundamental para el desarrollo sostenible y para generar un modelo productivo que permita a los sectores salir del mercado de la exportación de materias primas, *commodities* que dependen de su disponibilidad y de los precios en el mercado para generar valor agregado y reducir la dependencia en recursos fósiles y mineros, promoviendo a su vez la utilización de tecnologías y conocimiento sobre los recursos y procesos, para un correcto suministro de productos en todos los sectores de la economía (Henry *et al.*, 2017), de esta manera se pueden impulsar bioempresas en Colombia en sectores de biorrefinerías, biodiversidad farmacéutica y cosmética (Henry y Hodson, 2018).

La implementación de estos modelos es pertinente para hacer frente al cambio climático que se da progresivamente, enfrentar la vulnerabilidad de algunas regiones y grupos poblacionales, la reducción de la biomasa, la disminución de la pobreza alimentaria y nutricional, el agotamiento de los recursos naturales y las desigualdades sociales, por lo cual es necesario adoptar los patrones económicos propuestos por la agenda 2030 de las Naciones Unidas (Hodson, 2018). Para lograr un modelo de este tipo es necesario emitir un plan estratégico en función de este modelo

económico con por lo menos tres factores fundamentales: i) Financiación de investigación, desarrollo y mejora de capacidades, ii) participación e inclusión de las partes interesadas en actividades políticas, iii) mejoras dinámicas para los mercados y competitividad de los sectores de la economía que participan (Comisión Europea, 2018; García y Gómez, 2018).

A continuación, se explica detalladamente el modelo de equilibrio general usado para analizar los impactos de la bioeconomía colombiana, basado en el trabajo de Botero (2017) para el Departamento Nacional de Planeación.

#### **6.4 Descripción del modelo de equilibrio general computable aplicado a la bioeconomía en Colombia**

Con base en la identificación de sectores económicos potenciales en la economía colombiana, esta propuesta se basa en un modelo de equilibrio general calibrado para el año 2015 a partir de cuentas nacionales del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE). El modelo propuesto permite realizar trayectorias de crecimiento económico para los próximos quince años (hasta el año 2030), considerando diferentes escenarios de política económica que se simulan para algunas propuestas congruentes con la bioeconomía.

El modelo usado es una derivación del MEGC-Eafit usado en el estudio de bioeconomía que se realizó para Colombia en 2018 para el DNP. A este modelo se le agregan algunos elementos que permiten simular el comportamiento de la economía colombiana teniendo en cuenta las propuestas de desarrollo de la bioeconomía y su traducción en escenarios de política económica basados en la productividad y la cualificación del recurso humano para, posteriormente, analizar los efectos en términos de PIB, empleo, exportaciones y distribución de renta para la economía colombiana.

La propuesta de modelización se basa en un modelo de competencia perfecta, multisectorial, dinámico recursivo, calibrado para el año 2015, a partir de las Cuentas Nacionales de Colombia, base 2005. Clasifica la actividad productiva en 27 sectores y contempla tres tipos

de factores productivos: trabajo no calificado (que puede estar empleado en sectores formales, ocupado en actividades informales o permanecer desempleado); trabajo calificado y capital. Se modelan seis instituciones: hogares, empresas, gobierno central, gobiernos locales, seguridad social y resto del mundo (Biointropic *et al.*, 2018).

El ajuste de corto plazo del comportamiento de los consumidores resulta del cambio en los precios relativos luego de la reasignación de los factores productivos de las actividades económicas de análisis. Por el lado de la oferta, las firmas realizan cambios en la estructura productiva en especial sobre los factores productivos capital y trabajo. Como resultado, los precios finales se ajustan de acuerdo con los insumos elegidos por los productores en del proceso de maximización de sus utilidades, dando como resultado en los precios de equilibrio en el mercado de factores.

El modelo propuesto estructura de manera detallada los flujos factoriales, la dinámica institucional de la economía Colombia y el equilibrio entre el ahorro y la inversión en los principales agregados económicos. En este sentido, se garantiza el equilibrio de flujos de fondos con el que se ejecutan las simulaciones del modelo con base en la matriz de contabilidad social para la economía colombiana. La estructura general del modelo se presenta a continuación.

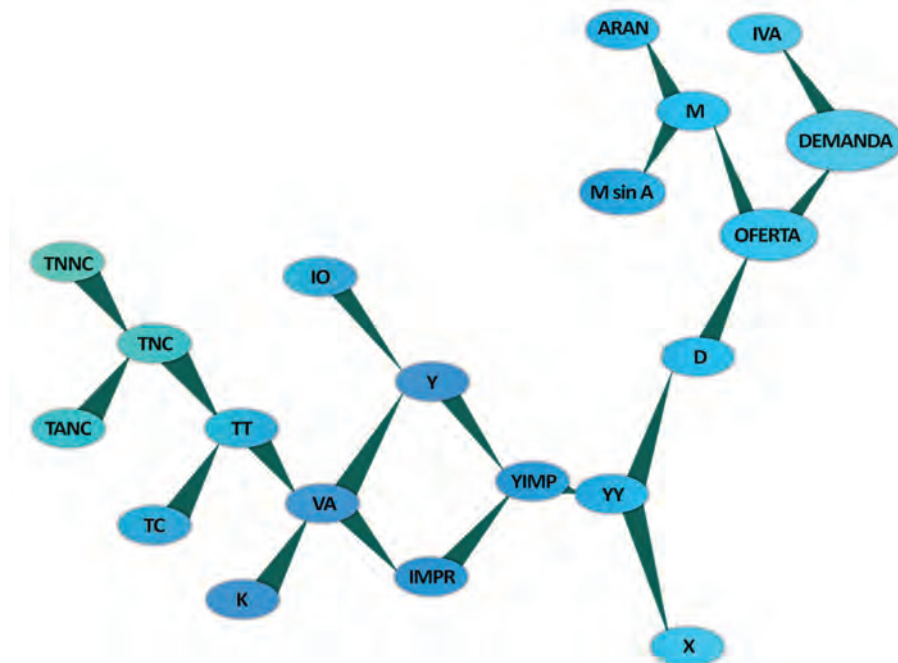
Siguiendo a Botero *et al.* (2017), las actividades de la economía se agregan en un primer nivel, capital (K) trabajo (TT), mediante una función CES, esta última agrega el trabajo asalariado no calificado (TANC) y el trabajo no asalariado no calificado (TNNC) mediante la misma forma funcional obteniendo el trabajo no calificado total (TNC), así este se agrega al trabajo calificado (TC) obteniendo el trabajo total (TT).

En un segundo nivel, el capital y mercado laboral total se agregan mediante una función CES generando el valor agregado (VA) de las actividades económicas que se añaden a las compras intermedias (IO) mediante una función de coeficientes fijos resultando en la producción de la rama sin impuestos (Y). Posteriormente, a esta producción se agregan (implementados coeficientes fijos) los impuestos de la rama (IMPR) para generar la producción de la rama con impuestos

(YIMP). Las producciones de las ramas se reparten entre los diferentes productos (YY), mediante la matriz de producción. En la **figura 8** se observa la representación gráfica del modelo.

Finalmente, los productos se establecen, mediante una frontera de posibilidades de producción tipo CET, a exportaciones (X) o a ventas domésticas (D). Las primeras son demandadas por el exterior, en un proceso que se modela mediante funciones tipo Armington del resto del mundo. Las segundas, agregan a las importaciones (M), mediante la misma estructura funcional, tipo Armington, en las que las importaciones previamente han pagado aranceles (ARAN) en proporciones fijas. La oferta total doméstica resultante paga impuestos indirectos (IVA), para atender de esta forma la demanda interna.

**Figura 8. Estructura general del modelo de equilibrio general para el presente trabajo**



Fuente: elaboración propia

En ese trabajo se realiza un análisis distributivo considerando veinte tipos de hogares, diez hogares rurales y diez hogares urbanos. Se elige uno urbano y uno rural para cada decil de ingreso, de esta forma se caracteriza la heterogeneidad de los hogares. En cada decil se arma un hogar representativo urbano y un hogar representativo rural, todos los hogares tienen una determinada dotación de mano de obra, una dotación de capital y una participación en las rentas. El modelo calcula índices relacionados con la distribución del ingreso a partir de las simulaciones.

Cada uno de los hogares considerados tiene una cantidad de trabajo disponible mediante una población en edad de trabajar calificada y una población en edad de trabajar no calificada. Cada uno tiene una dotación de capital que le permite participar en las rentas de capital que se generan en la economía (excedente bruto de explotación que se reparte entre los hogares, las empresas y el gobierno), los hogares también participan en las transferencias del exterior y en las transferencias que el gobierno da a los hogares. Con esto se constituye el ingreso disponible total de los hogares. Cada uno de los hogares tiene una tasa impositiva. Con los anteriores elementos se determina su oferta laboral y los ingresos generales de cada hogar. Se modela el consumo y cada hogar tiene una demanda de bienes, de acuerdo con la clasificación de los bienes en el modelo. Los hogares también generan ahorro, que es casi cero en los hogares de pocos ingresos.

La renta proviene de rentas de trabajo. Cada tipo de hogar tiene una determinada proporción de trabajo calificado y trabajo no calificado y esto hace la diferencia en la recepción de las rentas de cada hogar. Adicionalmente la calidad de trabajo de cada uno de los hogares es distinta, de esta forma reciben una proporción distinta del salario medio de la economía. A partir de la oferta de trabajo y del salario que reciben se configuran los ingresos de trabajo de los hogares. También tenemos los ingresos de capital y transferencias de otros hogares, del gobierno o de remesas. Con lo anterior se configura el ingreso total de cada uno de los hogares.

Los datos del modelo base 2015, para el modelo de equilibrio general para bioeconomía se encuentran en la **tabla 13**.

**Tabla 13. Parámetros escenario base 2015**

Parámetros escenario base	2015
Consumo hogares	499.214
Gasto público	148.826
Inversión	211.319
Inventarios	2.261
Exportaciones	114.618
Importaciones	176.926
Producto interno bruto	799.312

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con lo anterior, se observa en la **tabla 14** el esquema del modelo de equilibrio general usando la matriz de contabilidad social.

**Tabla 14. Esquema de matriz de contabilidad social en modelo de bioeconomía**

	RAMAS	PRODUCTOS	FACTORES	HOGARES	EMPRESAS	GOBIERNO + ISHSFL	INVERSIÓN	RDELM	TOTAL
RAMAS		MATRIZ DE PRODUCCIÓN							VALOR TOTAL PRODUCCIÓN
PRODUCTOS	COMPRAS INTERMEDIAS			CONSUMO		GASTO PÚBLICO	FBK (INVERSIÓN MÁS INVENTARIOS)	EXPORTACIONES	TOTAL PRODUCTO
FACTORES	PAGO AL TRABAJO Y AL CAPITAL								RENTAS FACTORIALES TOTALES
20 TIPO DE HOGARES			RENTAS DE TRABAJO MÁS PORCIÓN DE RENTAS DE CAPITAL (ARRENDOS)	TRANSFERENCIA ENTRE HOGARES	DIVIDENDOS + RENTAS MÁS PRESTACIONES PRIVADAS DE LA SEGURIDAD SOCIAL (PENSIONES DEL SISTEMA PRIVADO)	TRANSFERENCIAS SOCIALES (INGRESO SOLIDARIOS, ETC) PRESTACIONES DE LA SEGURIDAD SOCIAL PÚBLICA		REMESAS	INGRESO TOTAL
EMPRESAS			RENTAS DE CAPITAL (MAYOR PARTICIPACIÓN)	CONTRIBUCIONES A LA SEGURIDAD SOCIAL PRIVADA (APORTES)		RENTAS DE LA PROPIEDAD (INTERESES ETC)			INGRESO TOTAL
GOBIERNO + ISHSFL	IMPUESTOS INDIRECTOS A LA RAMA	ARANCELES (IMP)+IVA	RENTAS DE CAPITAL (UNA PEQUEÑA PROPORCIÓN)	IMPUESTOS DIRECTOS Y CONTRIBUCIONES A LA SEGURIDAD SOCIAL PÚBLICA	DIVIDENDOS Y RENTAS MAS IMPUESTOS DIRECTOS				INGRESO TOTAL
AHORRO				AHORRO	AHORRO	AHORRO		FLUJOS DE CAPITAL (INVERSIÓN EXTRANJERA DIRECTA, INVERSIÓN EN PORTAFOLIO O CRÉDITOS PÚBLICOS O PRIVADOS)	AHORRO TOTAL
RDELM		IMPORTACIONES			RENTAS (INTERESES Y DIVIDENDOS)				EGRESOS DE DIVISAS
TOTAL	VALOR TOTAL PRODUCCIÓN	TOTAL PRODUCTO	RENTAS FACTORIALES TOTALES	GASTO TOTAL	GASTO TOTAL	GASTO TOTAL	AHORRO TOTAL	INGRESO DE DIVISAS	

Fuente: elaboración propia

En el anexo se enuncian los parámetros, variables y ecuaciones principales del modelo y a continuación se resumen elementos importantes del mismo:

- **Factores productivos**
  - Trabajo no calificado: formal, informal o desempleado.
  - Trabajo calificado.
  - Capital.
- **Instituciones**
  - Hogares.
  - Empresas.
  - Gobierno central.
  - Gobiernos locales.
  - Seguridad social.
  - Resto del mundo.
- **Estructura productiva de las ramas: función de producción**
  - Nivel 1: trabajo calificado (TC) y trabajo no calificado (TNC), mediante función de elasticidad constante de sustitución (CES).
  - Nivel 2: trabajo total (TT) y capital (K), mediante función CES.
  - Nivel 3: valor agregado (VA) y compras intermedias (IO), mediante una función de Leontief de coeficientes fijos.
- **Matriz de producción**
  - Producción de cada rama (Y), más impuestos (YIMP).
  - Productos (YY) que se desagregan en producción doméstica (D) y exportaciones (X), mediante una frontera de posibilidades de producción de elasticidad de sustitución directa CET.
- **Rentas factoriales**
  - Las rentas factoriales se distribuyen entre las instituciones.
  - Las rentas de trabajo van a los hogares, una vez deducidos los aportes a la seguridad social.

- Las rentas de capital se distribuyen entre hogares, empresas y gobiernos, de acuerdo con los derechos de propiedad que detentan en las empresas.
- **Distribución del ingreso**
  - Rentas de capital: pagos de intereses y dividendos.
  - Transferencias: remesas del exterior y sistema general de participaciones.
  - Prestaciones de la seguridad social: pensiones y demás.
- **Utilidad de los hogares**
  - Consumo presente, consumo futuro (ahorro) y ocio.
- **Oferta de trabajo calificado**
  - Se ajusta por precio a la demanda agregada de los sectores productivos con una tasa de desempleo friccional.
- **Oferta de trabajo no calificado**
  - Distribuida entre mercado formal (ajustado por desempleo) e informal (ajustado por precio), distribución mediante esquema tipo Harris-Todaro.
- **Capital**
  - Recurso fijo sectorialmente: no presenta movilidad intersectorial.
- **Demanda de exportaciones**
  - *Commodities*: precio fijo (minería y petróleo).
  - Servicios de transporte y seguros: proporción fija de las exportaciones de bienes, transporte y servicios financieros.
  - Exportaciones de bienes diferenciados, modelada mediante función CES, como se sustituyen las exportaciones tradicionales con exportaciones diferentes. Sensible a tasa de cambio y a precios internacionales.

#### **Operaciones de distribución de ingreso**

- Rentas de capital: pagos de intereses y dividendos.
- Transferencias: remesas del exterior y participaciones y prestaciones de la seguridad social.

- **Ahorro de los hogares**

- Ahorro de las empresas.
- Ahorro del gobierno: central, local y seguridad social.
- Ahorro del resto del mundo.

A continuación, se hace una pequeña descripción del modelo y la forma en que está estructurado:

“El modelo es dinámico-recursivo: la formación bruta de capital fijo se convierte en capital sectorial, de acuerdo con un vector de “inversión por destino”, que define a dónde va dirigida la inversión por origen que el modelo ha generado. Así, el capital de cada sector en el período “ $t+1$ ” es el capital en “ $t$ ” depreciado, más la inversión que se destina al sector. La población en edad de trabajar evoluciona de acuerdo con parámetros poblacionales, y el comercio mundial crece conforme crece la economía global. Se determinan exógenamente el salario mínimo, los flujos de capital externos y los planes de gasto de las instancias del gobierno, produciendo así la secuencia de equilibrios que se proyecta para 15 años, en la corrida básica” (DNP, 2018, p. 161).

En el modelo se analizan dos tipos de sectores, los sectores de precios endógenos y los sectores de precios exógenos. Los sectores toman la decisión de uso de los recursos productivos mediante la senda de expansión de la función de producción. El capital es un recurso fijo para cada sector en el corto plazo. La remuneración se ajusta para equilibrar la demanda de cada sector a su oferta. La demanda de trabajo se ajusta por cantidad con un precio exógenamente determinado y la demanda de capital y trabajo calificado se ajusta por precio. La producción de los sectores productivos se destina a mercados domésticos o de exportación, ajustados por precios en el equilibrio de oferta y demanda.

Las rentas de trabajo van a los hogares, una vez deducidos los aportes a la seguridad social; las rentas de capital se distribuyen entre hogares, empresas y gobiernos. La seguridad social se divide en el modelo en pública y privada. El ingreso se distribuye en tres grandes categorías: rentas

de capital (pagos de intereses y dividendos), transferencias exógenas (que incluyen remesas del exterior y el sistema general de participaciones entre las instancias del gobierno) y prestaciones de la seguridad social.

La utilidad en los hogares es maximizada mediante un sistema lineal de gasto LES, que incluye el consumo presente, ahorro y el ocio. La sustracción entre la población en edad de trabajar calificada PETC y la población ociosa es ajustada mediante precio a la demanda agregada de los sectores productivos y se ajusta por desempleo y su salario se fija exógenamente. La oferta de trabajo no calificado se ajusta por precio y se distribuye entre el mercado formal e informal y es el resultado de la resta de la población en edad de trabajar no calificada la PETN y los trabajadores ociosos no calificados. La proporción en que se destina trabajo al mercado formal o informal se modela mediante un esquema tipo Harris-Todaro.

La demanda de exportaciones se divide en tres tipos: *Commodities* (minería y petróleo) de precio fijo, servicios de transporte y seguros y exportaciones de bienes diferenciados que pueden ser sustituidas por exportaciones de otros países. El ahorro se constituye en el modelo como la suma del ahorro de los hogares, el ahorro de las empresas, el ahorro del gobierno y el ahorro del resto del mundo. El ahorro total determina la formación bruta de capital.

## **6.5. Simulación de escenarios de política pública**

Para el año 2018 Biointropic realizó un estudio conjunto con el DNP, SILO de España, la Universidad Eafit y otras instituciones donde se adaptan las metas de la OCDE (2009), denominado *Estudio sobre la bioeconomía como fuente de nuevas industrias basadas en el capital natural de Colombia*. En este estudio se planteó la meta que la bioeconomía aportara el 50 % en la producción agrícola, el 10% de los químicos, y el 4% en cosméticos y fármacos en el total productivo de la economía. Estos valores fueron el punto de partida planteado por el estudio, ya que se considera que el desarrollo de estos productos en el país continuará en crecimiento. El estudio indica que hay una importancia relevante en el desarrollo del sector primario para el futuro

de la producción de Colombia, y hace explícita la necesidad de adoptar cambios en los sectores vinculados a la bioeconomía al introducir biotecnología para generar transformaciones productivas importantes que incrementen la productividad.

Se recomienda en este estudio la creación de empresas caracterizadas por desarrollar productos con origen o insumos naturales con un alto valor agregado. Se espera que estas empresas elaboren productos que sean destinados al consumo de empresas y hogares, y que sean desarrollados a partir del uso de biotecnología (CONPES, 2011). El uso de la biotecnología puede conllevar a la creación de empresas cuyas actividades involucran principalmente la producción de bienes y servicios a partir del desarrollo de I+D y aquellas en las cuales el 75 % de sus investigaciones se basan en innovación (OCDE, 2018). Para evaluar el aporte de mediano plazo de las actividades de la bioeconomía en la economía colombiana se consideraron tres escenarios de política económica además del denominado escenario base.

### **6.5.1 Escenario base**

Se analiza la dinámica de la economía colombiana sin considerar cambios estructurales en la capacidad productiva del país, dejando todo constante. En el escenario base no se invierte en política pública, ni se generan acciones para que las instituciones inviertan en bioeconomía.

### **6.5.2 Escenario *Bio***

Las políticas públicas en el primer escenario alternativo apuntan a reducir los impuestos a las industrias para fomentar la inversión en los sectores potenciales de la bioeconomía (*Bio*). Aunque se invierte lo mismo, parte de la inversión no lleva a actividades normales sino a actividades de bioeconomía. Se aplican políticas públicas que buscan duplicar la participación de la bioeconomía en el PIB del país para el año 2030, su asume que el gobierno destina el 2,4 % de los impuestos directos que recauda para apoyar el desarrollo de la bioeconomía. Por lo tanto, parte de la inversión no se destina a actividades normales de la economía sino a actividades bioeconómicas. La inversión en *Bio* favorece el acceso a mercados más dinámicos, hay más sofisticación lo que puede generar aumento de la demanda mundial. Esto a su vez genera crecimiento (CONPES, 2018).

### 6.5.3 Escenario educación capital humano

Invertir gasto público en educación —política pública en educación— genera un efecto positivo sobre la economía. La gente educada es escasa, se debe gastar más dinero para que la gente se eduque. Hay una acumulación de capital humano, hay un efecto en la calificación del trabajo. Este escenario plantea políticas educativas que fomenten estos sectores incrementando en 4,9 millones de personas la mano de obra calificada, a un costo de 16 millones de pesos per cápita (capital humano).

### 6.5.4 Escenario: productividad total de los factores. PTF

Los empresarios invierten en más innovación. Finalmente, se considera destinar el 0,5 % del PIB en políticas de innovación que incrementen la productividad total de los factores en 0,5 % anual, pasando de un incremento de 2 % anual, a uno de 2,5 % en todos los sectores (TFP).

El modelo planteado se resuelve utilizando el *software* GAMS y se hacen las simulaciones respectivas de acuerdo con los escenarios planteados, comparando los resultados obtenidos para cada una de las políticas públicas simuladas. La **figura 8** contiene el comparativo de los resultados a partir de los escenarios planteados en cada una de las políticas de bioeconomía. El PIB está en miles de millones de pesos y el empleo en personas.

**Tabla 15. Resultados macroeconómicos escenarios de política bioeconomía**

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
<b>PIB</b>																
BASE	799.126	824.711	850.907	875.273	899.807	924.881	950.163	975.716	1.001.603	1.027.890	1.054.642	1.081.923	1.109.797	1.138.332	1.167.597	1.197.669
BIO	799.126	824.710	850.951	875.409	900.089	925.374	950.958	976.931	1.003.401	1.030.484	1.058.314	1.087.046	1.116.865	1.148.002	1.180.762	1.215.550
BIO+KH	799.126	827.284	854.941	880.725	906.533	932.855	959.541	986.785	1.014.765	1.043.658	1.073.639	1.104.896	1.137.641	1.172.121	1.208.635	1.247.573
BIO+KH+TFP	799.126	830.327	860.114	888.043	915.978	944.485	973.469	1.003.150	1.033.727	1.065.391	1.098.341	1.132.780	1.168.929	1.207.056	1.247.474	1.290.592
<b>EXPORTACIONES</b>																
BASE	45.480	45.297	46.546	47.844	49.401	51.206	53.220	55.473	58.000	60.841	64.044	67.665	71.770	76.437	81.758	87.841
BIO	45.480	45.297	46.587	47.964	49.655	51.674	54.018	56.767	60.024	63.928	68.667	74.496	81.769	90.982	102.835	118.336
BIO+KH	45.480	45.293	46.585	47.970	49.680	51.730	54.114	56.913	60.230	64.208	69.037	74.976	82.384	91.763	103.819	119.569
BIO+KH+TFP	45.480	45.285	46.568	47.945	49.651	51.697	54.079	56.876	60.192	64.169	68.997	74.936	82.344	91.722	103.777	119.524
<b>EMPLEO</b>																
BASE	22.012	22.207	22.445	22.698	22.936	23.178	23.425	23.679	23.942	24.214	24.497	24.790	25.095	25.411	25.738	26.078
BIO	22.012	22.207	22.446	22.703	22.945	23.194	23.452	23.721	24.005	24.305	24.623	24.963	25.326	25.713	26.128	26.571
BIO+KH	22.012	22.247	22.498	22.764	23.012	23.266	23.537	23.829	24.148	24.498	24.882	25.304	25.768	26.278	26.837	27.450
BIO+KH+TFP	22.012	22.241	22.465	22.699	22.909	23.125	23.358	23.614	23.898	24.214	24.565	24.955	25.388	25.868	26.399	26.986

Fuente: elaboración propia

## 6.6 Sectores económicos

Según este estudio, el análisis por sectores y de la manera como son influidos por la economía es fundamental, por lo cual se destacan las dimensiones tecnológicas, regulatorias, de mercado, de financiación e inversión, de talento humano, de infraestructura y ambiental, como factores fundamentales para potencializar el desarrollo sostenible y sustentable. Por otro lado, se destacan los sectores a priorizar, entre los que son clave los sectores agrícola y pecuario, de alimentos y bebidas, químico, de cosméticos y aseo, farmacéutico, y el de salud.

El modelo considera 27 actividades económicas que estructuran la capacidad productiva, como se ilustra en la **Tabla 16**, las ramas consideran actividades relacionadas desde el sector primario hasta los servicios.

Para la consolidación de este modelo se realizó un análisis de datos con base en la matriz de oferta y utilización a seis dígitos que suministra el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2015). Inicialmente se eligieron los sectores que de acuerdo a la definición adoptada eran susceptibles de comportarse como sectores asociados a bioeconomía, luego se analizaron los indicadores económicos relevantes para el estudio y posteriormente se clasificaron los sectores de acuerdo al análisis de criterios económicos, sociales y ambientales.

En el estudio de bioeconomía realizado en 2018 para el Departamento Nacional de Planeación, se priorizaron seis sectores económicos que se consideran los más indicados para, a través de los choques de política, puedan aportar a la economía colombiana en el horizonte base de simulación hasta el año 2030. Los sectores priorizados en el estudio son agricultura, alimentos, químicos, farmacéuticos, cosméticos y servicios de salud.

Los criterios económicos bajo los cuales se analizaron los sectores son: tejido empresarial, indicadores de comercio exterior relativo al monto total de exportaciones e importaciones, indicadores relativos al crecimiento económico basado en la producción y el recaudo por sector, así como el crecimiento del sector en los últimos cinco años. Es importante también resaltar que para el análisis se tomó en cuenta el nivel de innovación de cada sector derivado del análisis de

número de empresas innovadoras, inversión en actividades de ciencia y tecnología, número de doctores y magíster en las empresas asociadas a esos sectores.

**Tabla 16. Clasificación de cuentas nacionales: actividades económicas**

Sector	Código Cuentas Nacionales Base 2005	Descripción
Agricultura	01, 02, 03, 04 y 05	Café, otros productos agrícolas, actividades pecuarias, silvicultura y pesca
Minería	06, 08 y 09	Carbón, minerales metálicos y no metálicos
Petróleo	07	Petróleo
Trilla	14	Productos del café y trilla
Alimentos	10, 11, 12, 13, 15, 16, 17 y 18	Carnes, pescados, aceites, grasas, lácteos, mollnería, azúcar, cacao, bebidas, otros
Otros Bienes Livianos	19, 20, 21, 22 y 23	Tabaco, textiles, prendas de vestir y cuero
Bienes Intermedios	24, 25, 26, 27, 29, 30 y 31	Productos de madera, papel, impresión, refinación de petróleo, caucho, productos minerales, metalúrgicos básicos
Químicos	28 menos 280202 y 280203	Químicos
Farmacéuticos	280202	Productos farmacéuticos
Cosméticos	280203	Comésticos
Industria Pesada	32, 33, 34, 35, 36 y 37	Maquinaria y equipo, equipo de transporte, muebles, otros
Generación de Electricidad	380001	Generación de energía eléctrica
Trasporte de Electricidad	380002	Transmisión de energía eléctrica
Distribución de Electricidad	380003	Distribución de energía eléctrica
Gas Domiciliario	380004	Gas domiciliario
Agua	380005	Agua
Construcción	41	Construcción de vivienda y bodegas
Obras Civiles	42	Obras civiles
Comercio	43, 44	Comercio y reparación de vehículos
Hotelería	45	Restaurantes y hoteles
Transporte	46, 47, 48 y 49	Transporte terrestre, acuatico, aéreo y servicios conexos
Comunicaciones	50	Correo y telecomunicaciones
Servicios Financieros	51	Servicios financiero y de seguros
Servicios Inmobiliarios	52, 53	Servicios inmobiliarios, alquiler y servicios a las empresas
Servicios del Gobierno	54	Administración pública
Salud	57	Servicios sociales y de salud de mercado
Servicios Varios	55, 56, 58, 59, 60 y 61	Servicios de enseñanza, alcantarillado, esparcimiento, servicios domésticos
Actividades Informales	Renta mixta de todos los sectores	Trabajo informal de todos los sectores

Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta los criterios sociales se revisaron los datos relativos a la institucionalidad de la investigación, el número de centros y grupos de investigación en áreas relacionadas con la bioeconomía y la biotecnología, así como los indicadores asociados al conocimiento entre los cuales se mencionan, número de patentes concedidas y número de publicaciones, número de estudiantes de maestría y doctorado en áreas relacionadas con la biotecnología, número de empleos totales y clasificación de empleo calificado para cada uno de los sectores.

Se tomaron en cuenta para el análisis, además, el criterio ambiental que reúne en el concepto aprovisionamiento, toneladas de biomasa renovable, toneladas de biomasa residual y producción de cultivos tonelada/año. Se parte de un escenario con punto de partida año 2015 para proyectar al año 2030 en el que se calibra el modelo con datos de las cuentas nacionales. Se parte de una clasificación de sectores según cuentas nacionales a 2015 (**figura 9**).

**Figura 9. Clasificación de cuentas nacionales: sectores potenciales de actividades bioeconómicas**

Sector priorizado	Código Cuentas Nacionales	Producto
<b>1. Agropecuario</b>	01	Productos de café
	02	Otros productos agrícolas
	03	Animales vivos, productos animales y productos de la caza
	04	Productos de silvicultura, extracción de madera y actividades conexas
	05	Productos de la pesca, la acuicultura y servicios relacionados
<b>2. Bebidas y alimentos</b>	10	Carnes y pescados
	11	Aceites y grasas animales y vegetales
	12	Productos lácteos
	13	Productos de molinería, almidones y sus productos
	14	Productos de café y trilla
	15	Azúcar y panela
	16	Cacao, chocolate y productos de confitería
	17	Productos alimenticios n.c.p
18	Bebidas	
<b>3. Resto de químicos</b>	28	Sustancias y productos químicos
<b>4. farmacéuticos</b>	280202	Productos farmacéuticos
<b>5. Cosméticos</b>	280203	Jabones, preparados para limpiar, perfumes y preparados de tocador
<b>6. Salud</b>	57	Servicios sociales y de salud de mercado
<b>7. Energía</b>	38	Energía eléctrica
	39	Gas domiciliario
	40	Agua

Fuente: elaboración propia

Es importante mencionar que este análisis también se centró en el comportamiento de los sectores económicos en Colombia. Según el estudio de bioeconomía realizado en Colombia en el marco de la misión de crecimiento verde se seleccionaron seis sectores de la economía que según los criterios definidos son los susceptibles de aportar a la bioeconomía en Colombia, como se observa en la **figura 10**.

**Figura 10. Sectores que aportan a la bioeconomía en Colombia**



Fuente: elaboración propia

Para el modelo que se está analizando se observa en la **figura 12** la participación de cada uno de los sectores. Se tiene la siguiente distribución de producción por sectores, lo que nos permite observar qué porcentaje representa cada sector de la producción nacional.

**Tabla 17. Participación de cada sector en la economía colombiana a 2015**

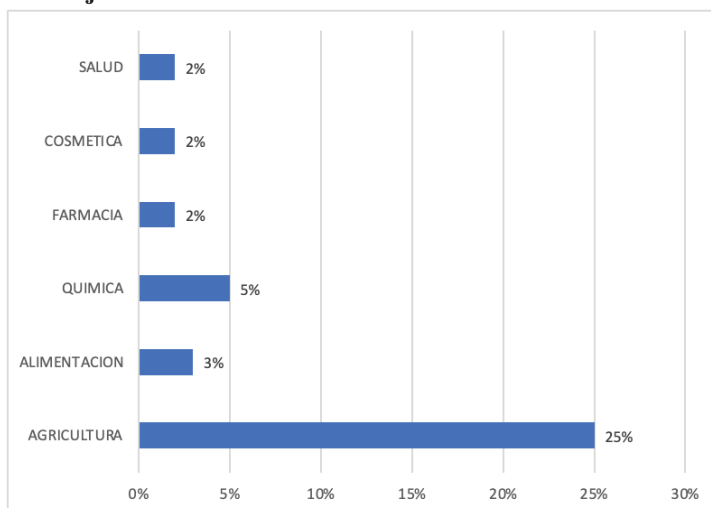
SECTORES	AGRI	ALIM	QUIMI	FARMA	COSME	SALUD	TOTAL PIB NACIONAL
ECONOMIA							
PIB POR SECTOR	85030	108513	45943	21437	25879	97949	1456030
	5,8%	7,5%	3,2%	1,5%	1,8%	6,7%	

Nota: matriz de contabilidad social modelo de equilibrio general bioeconomía. Datos en billones de pesos.

Fuente: elaboración propia

En el modelo se tienen como supuesto los datos de lo que representan las actividades de bioeconomía en cada sector (**Figura 11**).

**Figura 11. Porcentaje de actividades bioeconómicas en cada sector**



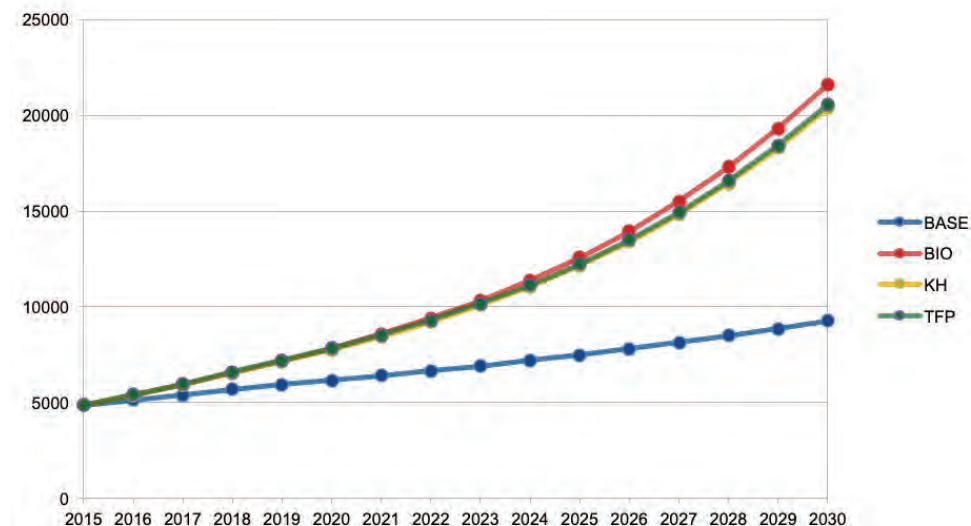
Fuente: elaboración propia

Para las simulaciones de las políticas económicas, fue necesario establecer un valor sobre qué tanto porcentaje de las actividades económicas del sector se consideraban actividades de bioeconomía, con el fin de poder tener bases para analizar los resultados obtenidos en cada sector después de aplicar políticas bioeconómicas. Con base en los resultados de las simulaciones, a continuación, se explican los resultados obtenidos a partir estas simulaciones en cada uno de los escenarios analizados en el presente trabajo. En la **figura 12**, relacionada con el sector agricultura, se observa que las políticas asociadas a la bioeconomía impulsan económicamente el sector y hacia el final de la proyección se observa un impacto importante en términos de producción en el sector.

Cuando se observa la figura de tasa de crecimiento anual acumulativa del PIB agricultura, cualquiera de los tres escenarios simulados permite un crecimiento promedio del 10 % en productividad en el sector agricultura. Respecto al escenario base se observa un crecimiento de seis puntos porcentuales derivados de las políticas de bioeconomía hacia el final del horizonte de

proyección. Podría interpretarse que cualquier política relacionada con impulsar la bioeconomía sería de gran impulso a la productividad del sector.

**Figura 12. Comportamiento del PIB sector agricultura en escenarios de bioeconomía 2015-2030**



Fuente: elaboración propia a partir de las simulaciones del modelo de equilibrio general.

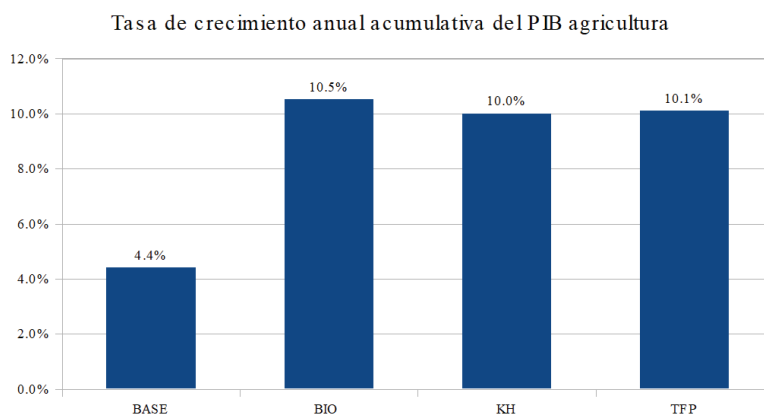
Es importante aclarar que en el modelo y en cada uno de los escenarios no se están invirtiendo recursos adicionales en bioeconomía. Lo que se hace en el modelo es cambiar la orientación de la inversión, es decir, se invierte en actividades bioeconómicas. El modelo parte de que el 25 % de la inversión agropecuaria se hizo en bioeconomía en el año base. Se destina el 1,7 % de la inversión total del país a actividades agropecuarias y, de ese 1,7 %, el 0,25 % va dirigido a sectores bioeconómicos de la agricultura. Así, la producción de alimentos participa con el 2,5 %, químicos con el 3,4 %, productos farmacéuticos con el 1,4 %, cosméticos con el 1,6 % y salud con el 1,9 % de la inversión total del país.

De esta manera, al hacer la proyección se observa que al año 2030 la agricultura ha ganado participación y recibe la final de la proyección el 2,78 % de la inversión colombiana. Sector alimentos el 2,69 %, químicos el 3,71 %, fármacos el 1,5 %, cosméticos el 1,6 % y salud el 1,9 % de la inversión colombiana.

Lo que se hace en el modelo es aplicar políticas para lograr que se aumente la inversión en agricultura. Para el año 2030 ese porcentaje se espera que este en el 0,5 %, es decir, se va a duplicar la participación de bioeconomía en la inversión agrícola, siendo la inversión agrícola baja en Colombia. Los demás sectores participan así: alimentos el 3%, química 5%, fármacos y cosméticos el 2% y en salud el 2%. Se espera que con la política que se aplique se pueda ganar participación en cada sector de la bioeconomía, hasta duplicar la participación de cada sector.

Hay un elemento importante al analizar los datos y es ver cómo al aplicar la política de bioeconomía *Bio*, el crecimiento del sector agricultura es importante. En el escenario base a 2030 el PIB agricultura es de 9,2 billones de pesos y en 2030, escenario *Bio*, de 21,58 billones.

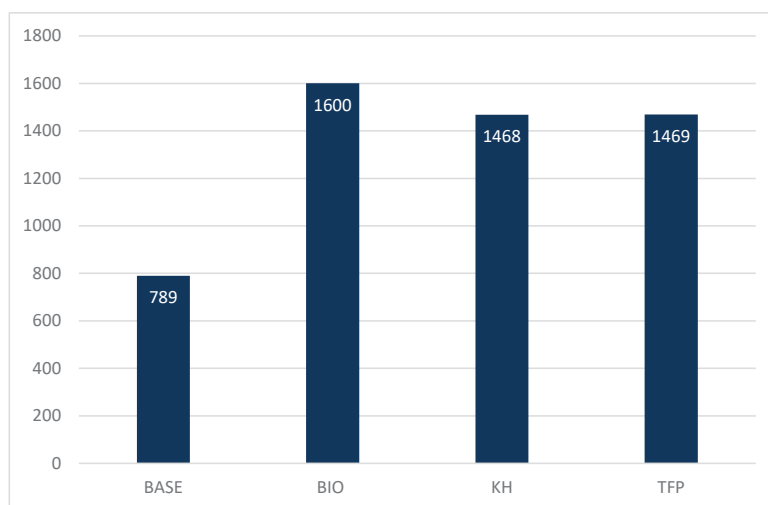
**Figura 13. Tasa de crecimiento anual acumulativa del PIB agricultura**



Fuente: elaboración propia a partir de las simulaciones del modelo de equilibrio general.

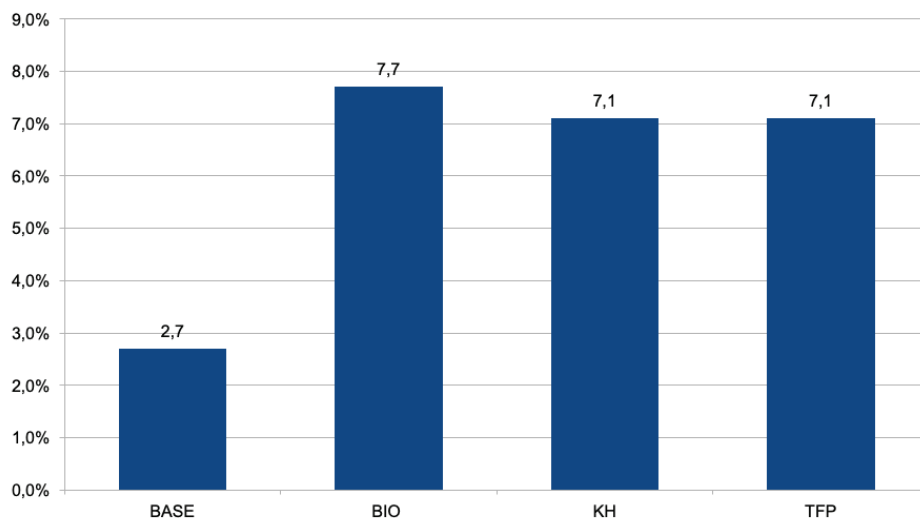
En las siguientes figuras se observa el comportamiento del sector de alimentos ante las políticas de bioeconomía que se plantean. Al igual que el sector de agricultura, los escenarios planteados son positivos para lograr mejores indicadores de producción en este sector de la economía (**Figura 14**). El escenario más favorable para este sector es el escenario *Bio*, que reporta una tasa de crecimiento anual acumulativa del 7,7%, sin dejar de lado el crecimiento obtenido a partir de los otros dos escenarios KH y TFP con crecimientos del 7,1%. Son tasas de crecimiento elevadas que se fundamentan en los supuestos realizados sobre el comportamiento general de la economía durante el periodo de análisis.

**Figura 14. Comportamiento del PIB sector alimentos en escenarios de bioeconomía 2015-2030**



Fuente: elaboración propia a partir de las simulaciones del modelo de equilibrio general.

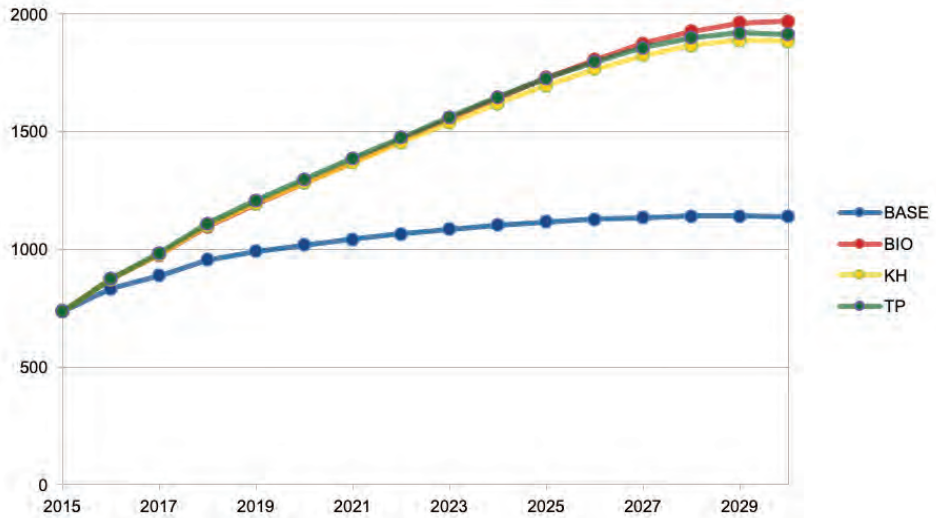
**Figura 15. Tasa de crecimiento anual acumulativo del PIB sector alimentos en escenarios de bioeconomía 2015-2030**



Fuente: elaboración propia a partir de las simulaciones del modelo de equilibrio general.

Para el caso del sector químicos, los resultados en los tres escenarios planteados son semejantes y con tasas de crecimiento anual acumulativas cercanas al 6,5%, lo que indica también un escenario favorable para este sector (Figura 16 y Figura 17). Los resultados relativos entre las diferentes opciones también similares a los ofrecidos para el sector de alimentos, aunque ligeramente inferiores.

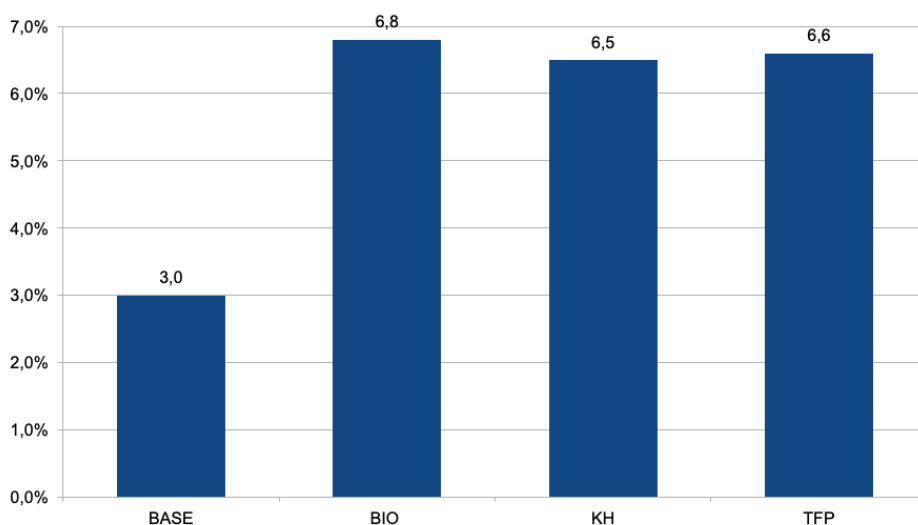
**Figura 16. Comportamiento del PIB sector químicos en escenarios de bioeconomía 2015-2030**



Fuente: elaboración propia a partir de las simulaciones del modelo de equilibrio general.

También para el caso químicos se puede observar la tasa de crecimiento anual acumulativa en la Figura 17.

**Figura 17. Tasa de crecimiento anual acumulativo del PIB sector químicos en escenarios de bioeconomía 2015-2030**

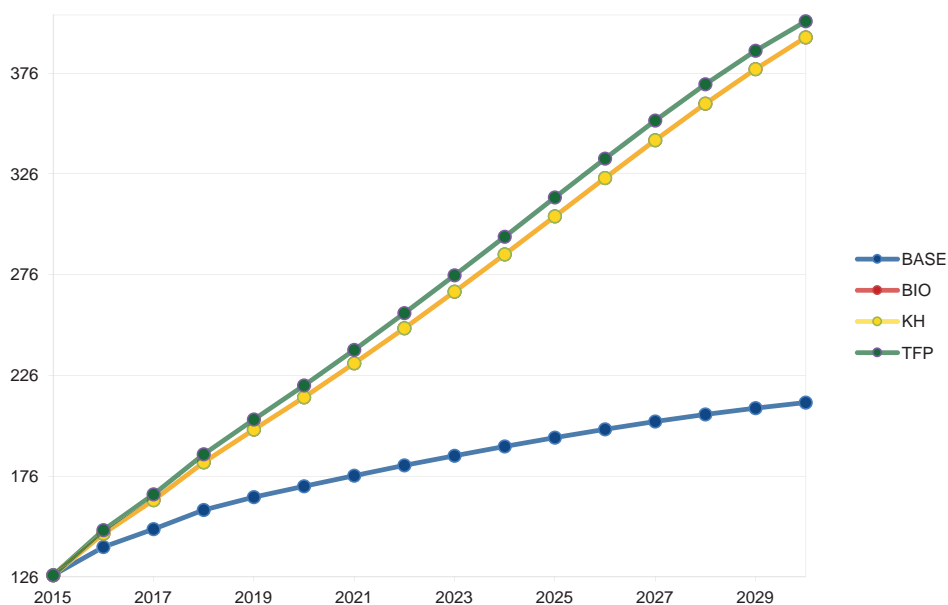


Fuente: elaboración propia a partir de las simulaciones del modelo de equilibrio general.

El sector fármacos presenta una tendencia creciente en el impacto de la producción desde los primeros años de proyección (Figura 18). Se observa una pendiente inclinada, lo que indica que las inversiones que se hagan en este sector van a generar impactos positivos en el corto plazo y a medida que se siga invirtiendo, se puede convertir en un sector de gran dinamismo económico que favorezca los escenarios de productividad.

Con respecto a la tasa de crecimiento acumulativa anual del PIB en el sector fármacos (Figura 19), se considera una tasa de crecimiento importante con valores de 7,8 en escenario *Bio*, 7,8 en escenario de KH y 8,0% en escenario TFP. Una vez aplicadas las políticas de bioeconomía se obtiene un crecimiento del 4,5% en productividad, al pasar del 3,5% de crecimiento anual en el escenario base al 7,8% en el escenario *Bio*. Lo que indica que aplicar políticas de bioeconomía en este sector representará beneficios importantes en la productividad del sector.

**Figura 18. Comportamiento del PIB sector fármacos en escenarios de bioeconomía 2015-2030**



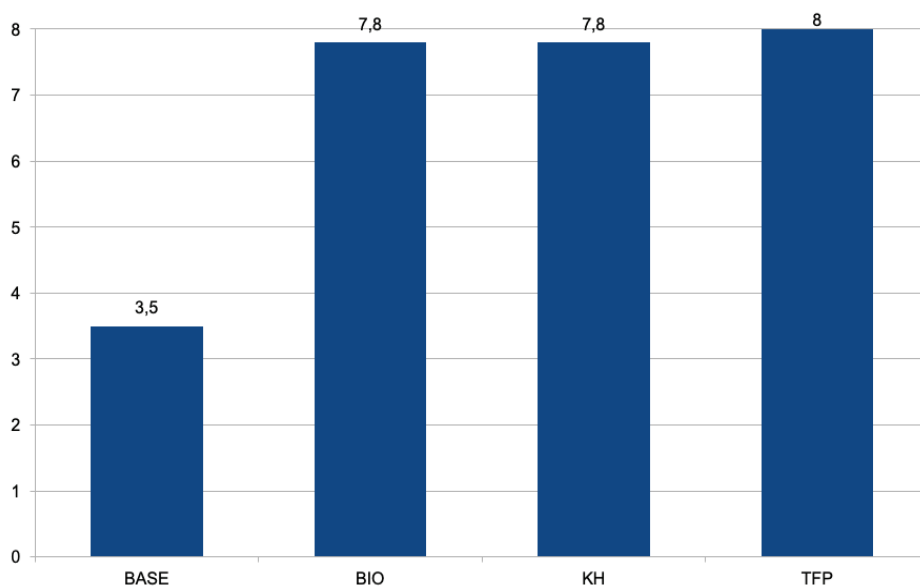
Fuente: elaboración propia a partir de las simulaciones del modelo de equilibrio general.

Al igual que en otros sectores la tasa de crecimiento anual acumulativo es importante para los análisis. El comportamiento del PIB en el sector salud para el horizonte de crecimiento se observa más favorecido en el escenario de TFP, con una tendencia creciente en el largo plazo lo que sugiere que las inversiones que se realicen en este sector tendrán su impacto más intenso en el largo plazo.

Las tasas de crecimiento anuales acumulativas del PIB en el sector salud son importantes con un 8,4 % de crecimiento anual derivados de políticas BIO, un 9,0 % de crecimiento con

políticas de KH y un 9,4 % derivado de políticas de TFP. Si se continuara con un escenario conservador como lo es el escenario base, solo se tendría una tasa de crecimiento anual acumulativa de 3,4 % en el horizonte de proyección.

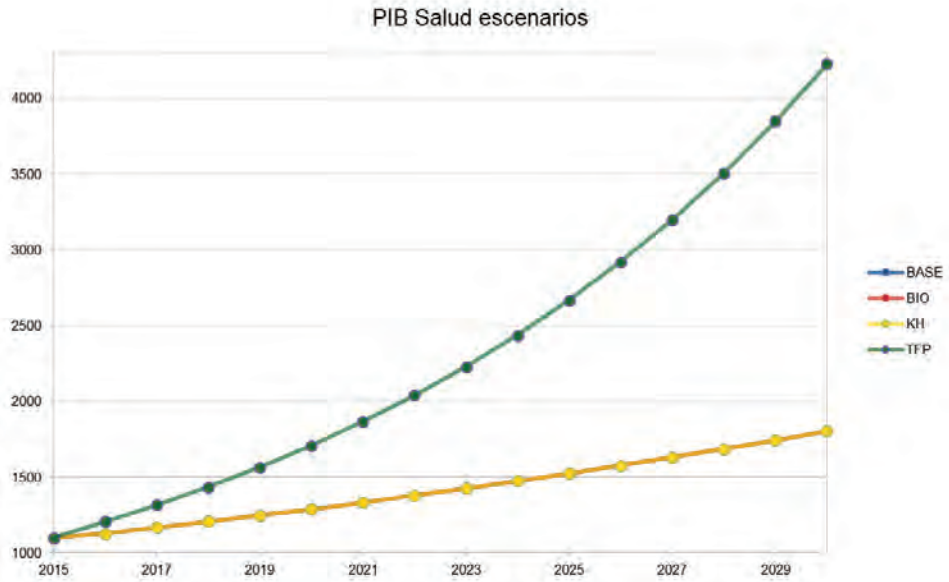
**Figura 19. Tasa de crecimiento anual acumulativo del PIB sector fármacos en escenarios de bioeconomía 2015-2030**



Fuente: elaboración propia a partir de las simulaciones del modelo de equilibrio general.

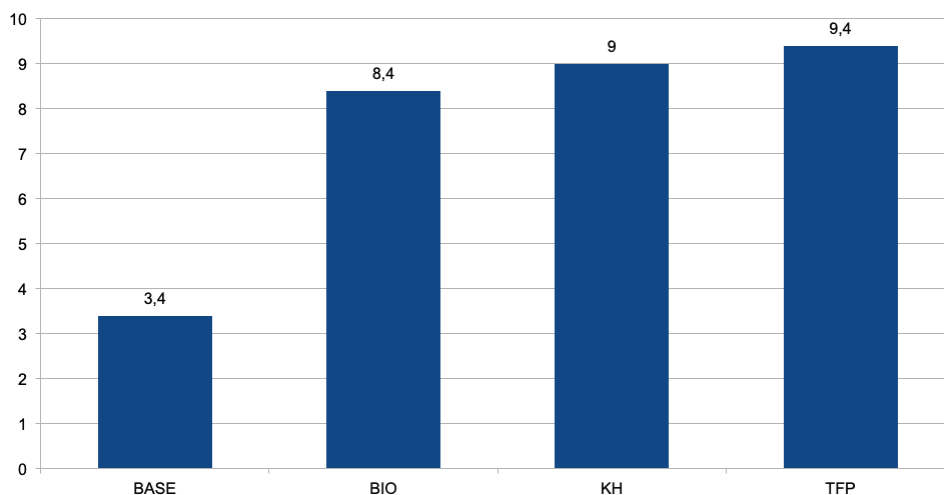
Lo anterior sugiere que este sector, tal como lo indican los estudios anteriores, es un sector de gran proyección a nivel de impacto de políticas bioeconómicas. Las inversiones que se hagan allí pueden generar réditos importantes en un escenario a medio y largo plazo.

Figura 20. Comportamiento del PIB sector salud en escenarios de bioeconomía 2015-2030



Fuente: elaboración propia a partir de las simulaciones del modelo de equilibrio general.

**Figura 21. Tasa de crecimiento anual acumulativo del PIB salud 2015-2030**

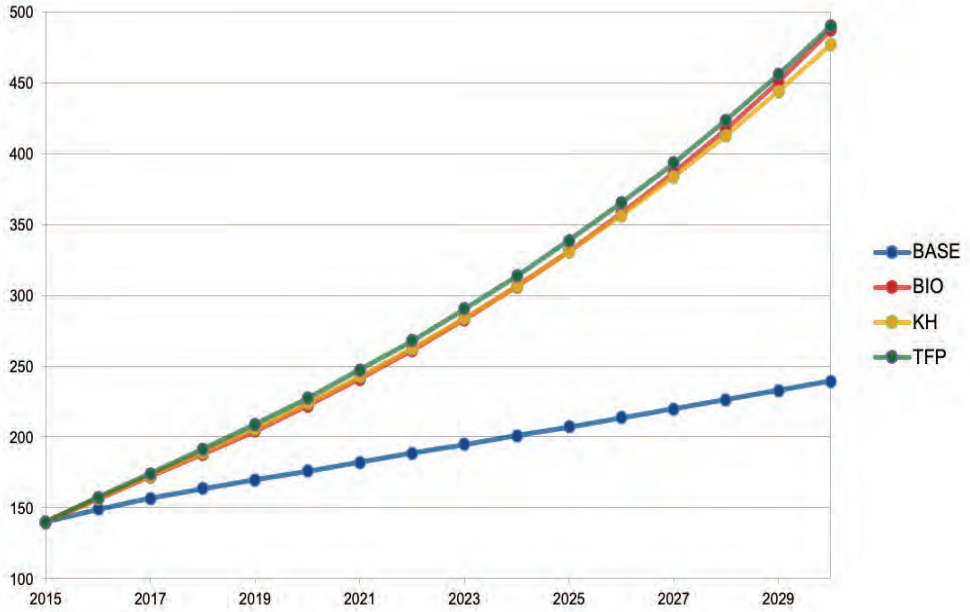


Fuente: elaboración propia a partir de las simulaciones del modelo de equilibrio general.

Otro sector priorizado en los estudios del gobierno colombiano es el sector cosmético, de gran peso en las políticas bioeconómicas en los países que tienen políticas asociadas al uso de los recursos naturales. Cualquiera de los escenarios previstos para implantación de políticas en bioeconomía será favorable y en el largo plazo la tendencia hacia la productividad del sector se hace más visible. Continuar con políticas pobres en cuestión de inversión en el sector no representaría crecimiento como se puede observar en el escenario base, donde se observa en la curva de tendencia un tímido crecimiento hacia el final del horizonte de proyección.

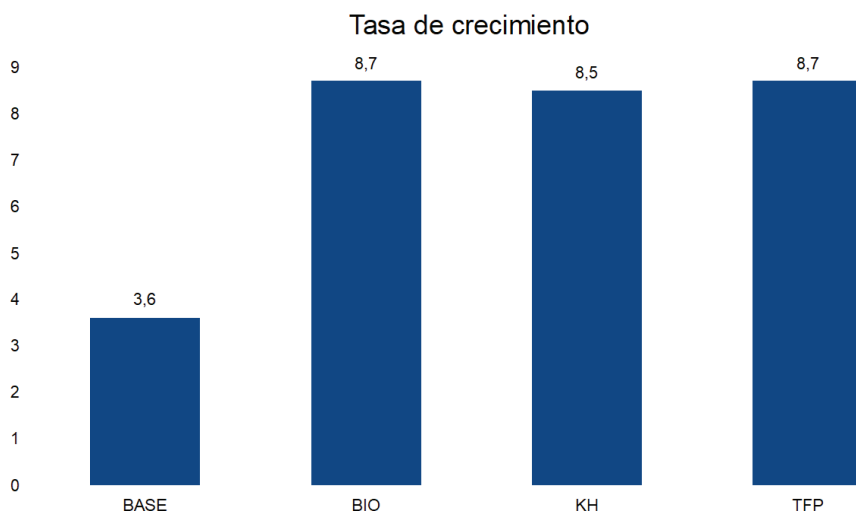
La tasa de crecimiento acumulativa anual para cada uno de los escenarios es en promedio del 8,5 %, un impacto importante para un sector clave para el crecimiento de la economía con base en criterios de uso sostenible de los recursos naturales. Continuar con las políticas actuales representaría solo un crecimiento anual del 3,6 % como se observa en la **figura 21**, proyección del escenario base.

**Figura 22. Comportamiento del PIB sector cosméticos en escenarios de bioeconomía 2015-2030**



Fuente: elaboración propia a partir de las simulaciones del modelo de equilibrio general.

**Figura 23. Tasa de crecimiento anual acumulativo del PIB sector cosméticos en escenarios de bioeconomía 2015-2030**



Fuente: elaboración propia a partir de las simulaciones del modelo de equilibrio general.

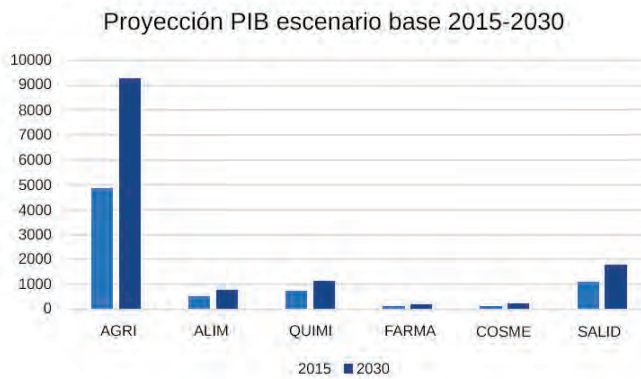
Una vez analizado el comportamiento de los sectores en cada uno de los escenarios y sus tasas de crecimiento se hace fundamental comparar los resultados al inicio y al final de la proyección de cada uno de los sectores. En todas las figuras posteriores se observa que el sector agricultura es uno de los más susceptibles de crecer dadas las políticas que se generen alrededor de la bioeconomía.

Salud también se presenta como un sector de gran productividad una vez se implanten políticas bioeconómicas alrededor de este sector productivo. El propiciar un escenario de reducción de impuestos para las industrias del sector agricultura favorecerá en gran medida el impacto sobre la producción en este sector, como se observa en la **figura 24**.

Así mismo las inversiones que se hagan para cualificar el capital humano en el sector agricultura generarán un gran impacto en la productividad del sector. Si se implantan políticas

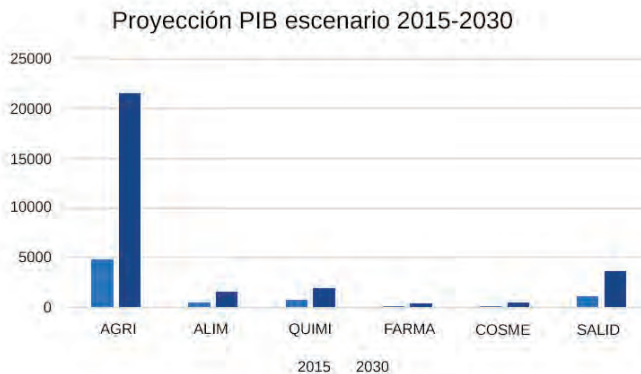
relacionadas con la innovación también se verán reflejados en el impacto a la producción en el largo plazo.

**Figura 24. Proyección PIB por sectores escenario base**



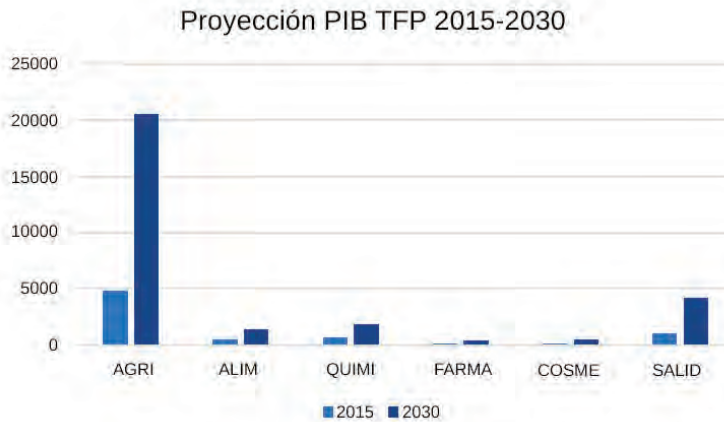
Fuente: elaboración propia a partir de las simulaciones del modelo de equilibrio general.

**Figura 25. Proyección PIB por sectores escenario *Bio***



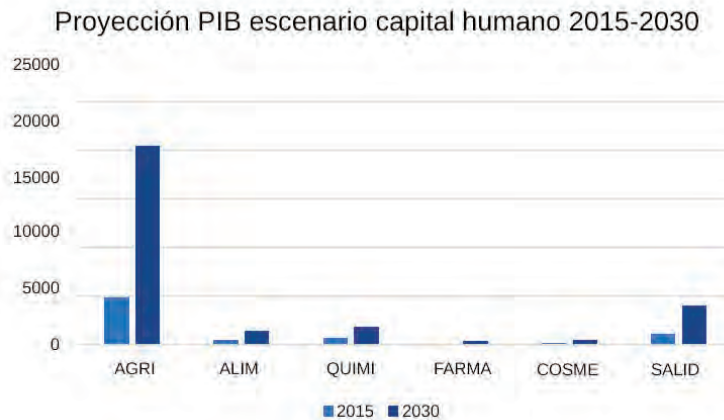
Fuente: elaboración propia a partir de las simulaciones del modelo de equilibrio general.

**Figura 26. Proyección PIB por sectores escenario TFP**



Fuente: elaboración propia a partir de las simulaciones del modelo de equilibrio general.

**Figura 27. Proyección PIB por sectores escenario KH**



Fuente: elaboración propia a partir de las simulaciones del modelo de equilibrio general.

## 6.7 Aplicaciones del modelo de equilibrio general computable a la economía colombiana.

### Análisis del impacto macroeconómico: crecimiento, empleo y distribución de la renta

Anteriormente se han analizado los resultados a escala de cada sector, en este apartado se analizará el efecto agregado de las políticas de bioeconomía sobre el total de la economía.

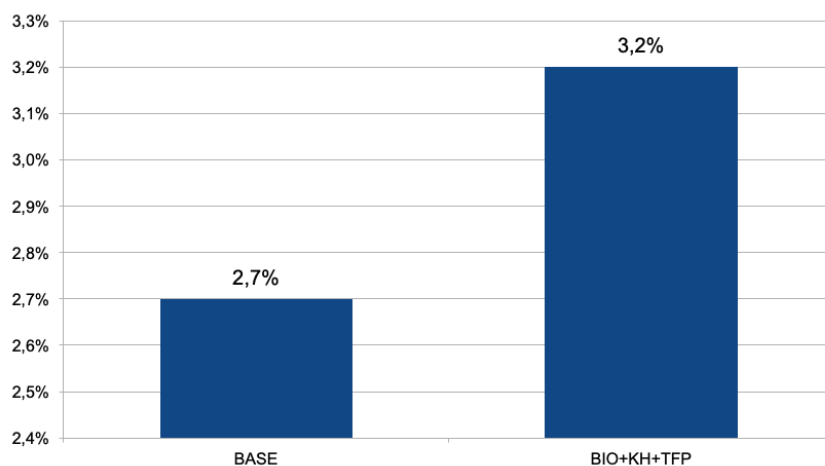
#### 6.7.1 Aplicaciones a recurso humano y productividad

La comparación de los resultados de los escenarios permite analizar los hallazgos que pueden obtenerse derivados de las políticas de bioeconomía adoptadas en el presente trabajo. Las políticas son acumulativas, es decir, a medida que se simula un nuevo escenario y se acumula su indicador al anterior con el fin de revisar el efecto multiplicativo de las políticas. A continuación, se explican los resultados obtenidos en cada uno de los escenarios para cada una de las variables. En las siguientes gráficas se observa el comportamiento de las principales variables macroeconómicas resultado de las simulaciones realizadas en el horizonte de estudio 2015 a 2030.

Se observa que la tasa de crecimiento anual acumulativa del PIB en el escenario *base* es del 2,7 %, acumulado con el escenario *Bio* es de 2,8 % y para el escenario *BIO+KH* del 3,0 %, terminado con *BIO+KH+TFP* es de 3,2 %. Si calculásemos la variación relativa del PIB en el mismo período tendríamos como conclusión que al final del período tendría un 49,9 % más de renta que en el período inicial en el escenario base y así para cada escenario, en el *Bio* 52,1 %, *BIO+KH* del 56,1 % y en *BIO+KH+TFP* del 61,5 %, en un período de quince años. Esto significa que al final del período de proyección en el último escenario tendría un 61,5 % más de producción con una tasa de crecimiento anual del 3,2 % del PIB. Este comportamiento se observa en las siguientes figuras.

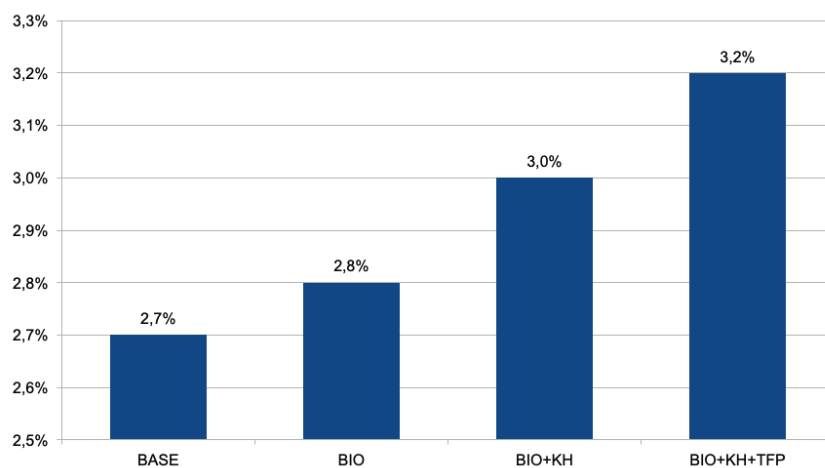
En la **figura 29** se observa lo que aporta cada una de las políticas al crecimiento del PIB en el período de estudio 2015 a 2030. Al tomar el aporte de cada escenario al crecimiento del PIB en el período estudiado se observa que el escenario de *PTF* es el más favorable en términos de productividad para el período de estudio trabajado.

**Figura 28. Tasa de crecimiento anual acumulativa del PIB**



Fuente: elaboración propia a partir de las simulaciones del modelo de equilibrio general.

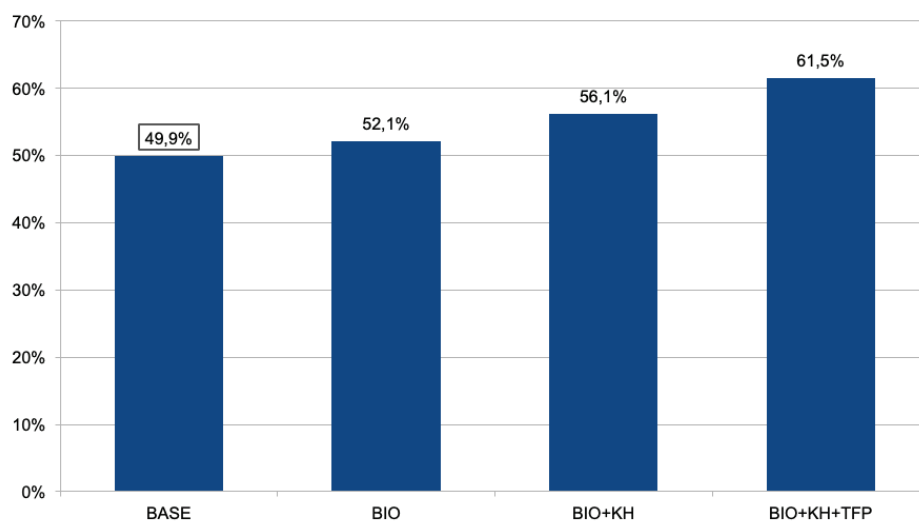
**Figura 29. Tasa de crecimiento del PIB por escenarios acumulativo**



Fuente: elaboración propia a partir de las simulaciones del modelo de equilibrio general.

Es importante también analizar la variación relativa del PIB en el período de estudio.

**Figura 30. Variación relativa del PIB escenarios de proyección 2015 a 2030**



Fuente: elaboración propia a partir de las simulaciones del modelo de equilibrio general.

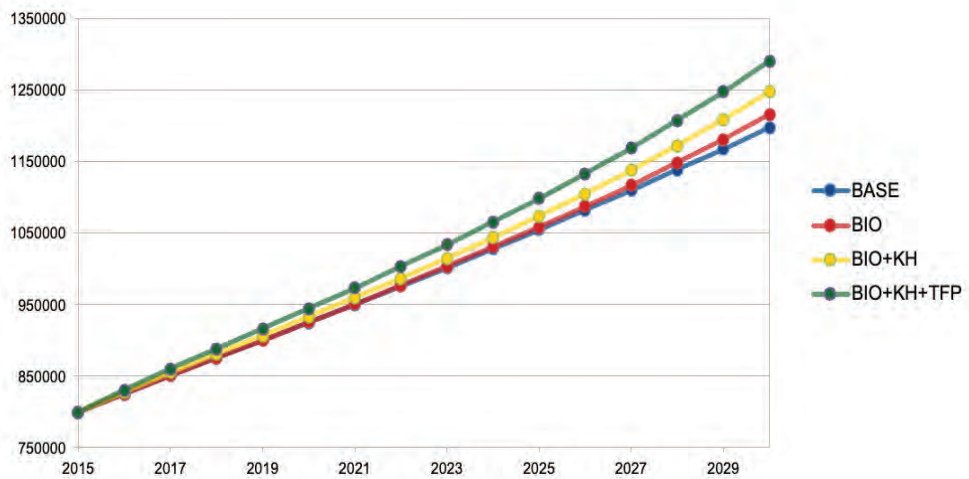
Se observa en análisis anteriores que el impacto de las políticas de capital humano y productividad y al sacar la diferencia en las tasas de crecimiento anuales cada una de las políticas se obtiene un valor importante en términos de producción para la economía colombiana.

A continuación, se analizan los resultados de la producción en términos de PIB, usando otro tipo de figuras.

En términos de producción del PIB, según se observa en las **figuras 29 y 30**, los cambios que pueden generar las políticas de bioeconomía tendrán sus efectos en el mediano y largo plazo, ya que las pendientes se inclinan al final del período. En este análisis del PIB, se observa que, en

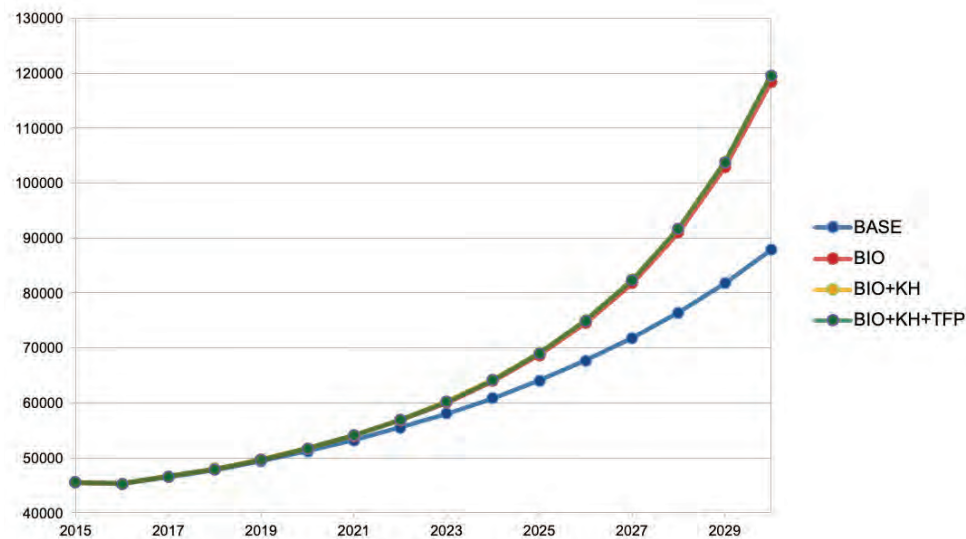
el escenario de productividad de los factores, se presenta un escenario favorable con un comportamiento creciente hacia el final del horizonte de proyección. Se evidencia clara tendencia al alza con una pendiente más inclinada en el caso del escenario de productividad total de los factores, es decir, es un escenario que favorece las perspectivas de crecimiento de la economía. El escenario basado en productividad total de los factores, donde se proyecta que el destinar el 0,5 % de PIB a políticas de innovación es una buena política para favorecer el crecimiento de la economía colombiana.

**Figura 31. Comportamiento del PIB en los escenarios de proyección**



Fuente: elaboración propia a partir de las simulaciones del modelo de equilibrio general.

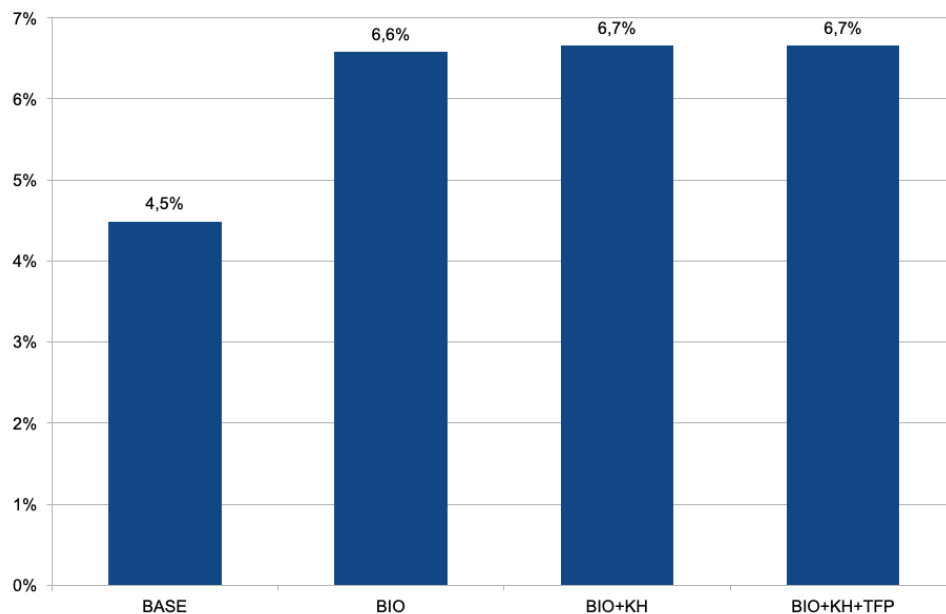
**Figura 32. Comportamiento del PIB en los escenarios de proyección**



Fuente: elaboración propia a partir de las simulaciones del modelo de equilibrio general.

Las exportaciones de Colombia se ven favorecidas en los tres escenarios de productividad total de los factores, *Bio* y capital humano, la curva inclinada hacia el final de la proyección pone de manifiesto que las políticas de largo plazo favorecen las exportaciones en el largo plazo. El escenario base es conservador con relación al incremento de las exportaciones al final de la proyección. Se observa en la **figura 35** siguiente la tasa de crecimiento anual de las exportaciones en los escenarios de crecimiento.

**Figura 33. Tasa de crecimiento anual de las exportaciones en el escenario de proyección**

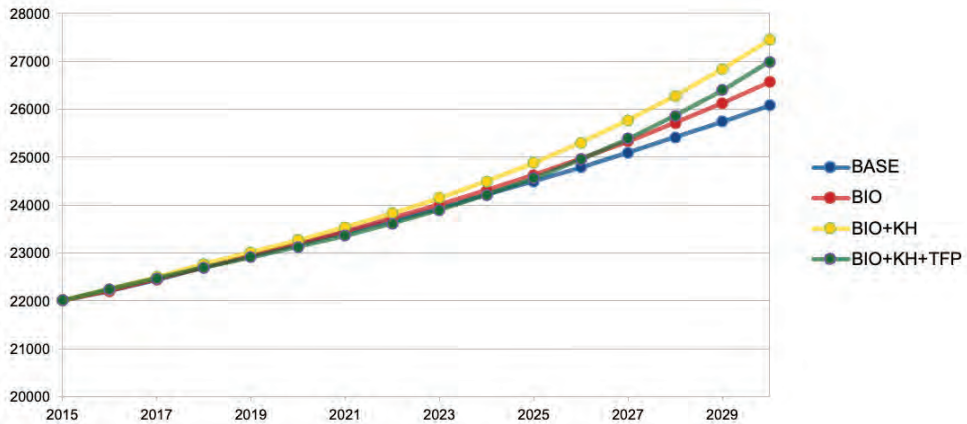


Fuente: elaboración propia a partir de las simulaciones del modelo de equilibrio general.

Los resultados en exportaciones también son importantes para evaluar las políticas de bioeconomía, tal como lo muestra la **figura 33**.

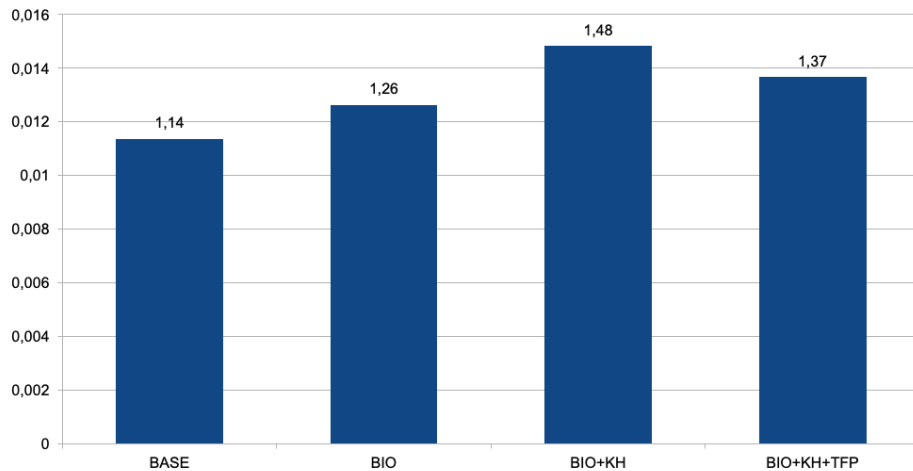
Cómo es lógico, el escenario de capital humano favorece el crecimiento del empleo, toda vez que una vez las personas se cualifican aumenta la oferta de trabajo calificado para incorporarse a los sectores productivos. La tendencia de crecimiento es conservadora y el aporte a la economía se dé en los últimos años de proyección. La **figura 34** siguiente muestra el comportamiento de la tasa de crecimiento acumulativa en los escenarios de proyección.

**Figura 34. Comportamiento del empleo en los escenarios de proyección**



Fuente: elaboración propia a partir de las simulaciones del modelo de equilibrio general.

**Figura 35. Tasa de crecimiento acumulativa de empleo en los escenarios de proyección**



Fuente: elaboración propia a partir de las simulaciones del modelo de equilibrio general.

En los escenarios anteriores se ha visto que el de productividad total de los factores es el que más favorece todos los resultados cuando las políticas públicas relacionadas con la bioeconomía. Sin embargo, el empleo es uno de los indicadores básicos de una economía sana y la formación de recurso humano con miras a elevar los niveles de empleo acompañados de una política pública puede ser un elemento importante en políticas con relación a la bioeconomía. El recurso humano para la ciencia y la tecnología constituye un grupo fundamental en el desarrollo de la economía y el bienestar de un país, ya sea porque directamente generan innovaciones o porque contribuyen al desarrollo y difusión del conocimiento que beneficia la presente y futuras generaciones. El escenario de capital humano plantea una inversión en los sectores económicos incrementando en 4,9 millones de personas la mano de obra calificada, a un costo de 16 millones de pesos per cápita.

En la proyección de escenarios de capital humano el número de personas empleadas al año 2030 alcanzará para los escenarios base y *Bio* un poco más de los 26 millones de personas: en el escenario de TFP cercano a los 27 millones de personas y es el escenario de capital humano el que más favorece el empleo con poco más de 27,4 millones de personas.

**Tabla 18. Comparación de crecimiento del empleo en los escenarios propuestos**

ESCENARIOS	%
BASE	1,1
BIO	1,3
BIO+KH	1,5
BIO+KH+TFP	1,4

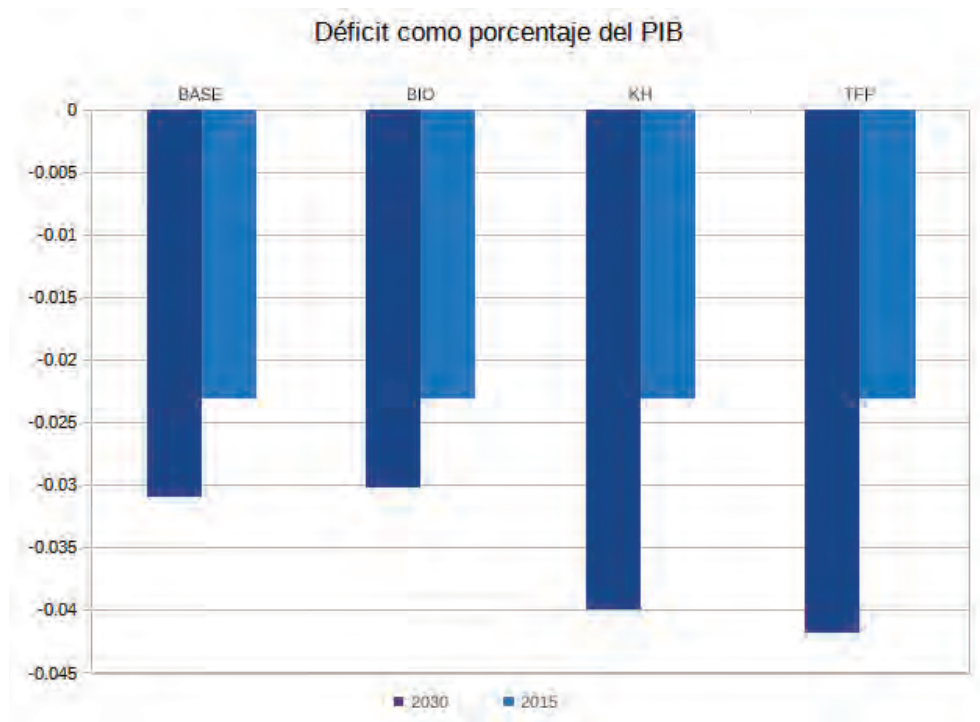
Fuente: elaboración propia.

El escenario que más favorece el empleo es el de capital humano en el que al final de la proyección el crecimiento del empleo será de 1,5 %.

Por último, es también importante analizar el peso del déficit en el PIB, es decir, cuál es el déficit en porcentaje del PIB como un indicador relevante para aproximar la sostenibilidad de las

medidas propuestas. Se observa en la **figura 36** que, en términos de déficit, el mejor resultado es el *Bio*, se consigue más crecimiento cuando se trabaja con políticas de rebajas de impuesto en los sectores.

**Figura 36. Déficit en escenarios de proyección como porcentaje del PIB**



Fuente: elaboración propia.

Los anteriores fueron los resultados de las simulaciones para algunas de las variables económicas más importantes cuando hablamos de bioeconomía.

### 6.7.2 Pobreza y desigualdad: distribución de la renta en el marco de políticas bioeconómicas

Antes de ilustrar los diferentes escenarios de política económica en bioeconomía, se hace necesario ilustrar la evolución de la distribución de la renta en Colombia. Para este caso, se establecen líneas de pobreza monetaria en dos grandes dimensiones (**tabla 19**).

**Tabla 19. Distribución de la renta. Colombia**

AÑO	2019	2020
La línea de pobreza monetaria extrema	Per cápita: \$137.350 Hogar de cuatro personas: \$549.400	Per cápita: \$145.004 Hogar de cuatro personas: \$580.016
La línea de pobreza monetaria	Per cápita: \$327.674 Hogar de cuatro personas: \$1.310.696	Per cápita: \$331.688 Hogar de cuatro personas: \$1.326.752

Fuente: elaboración propia a partir de DANE (2020).

En Colombia los niveles de pobreza han permanecido estables durante la última década. Como se ilustra en la siguiente **figura**, no se evidencian cambios estructurales en los niveles de pobreza medidos en términos monetarios a partir de las líneas de pobreza en sus diferentes dominios geográficos. Para el caso rural, la pobreza presenta niveles más altos en relación con el promedio nacional, a pesar de que la pobreza monetaria en la zona rural cayó 4,6 puntos porcentuales en 2020.

En la **figura 37** se puede observar la *Incidencia de la pobreza monetaria* para el periodo de 2012 a 2020, en los subgrupos poblacionales nacional, cabeceras, centros poblados y rural disperso, trece ciudades y áreas metropolitanas, otras cabeceras. Esta medida indica la proporción de la población que es pobre monetariamente respecto al resto de la población, para el grupo poblacional nacional esta medida presentó un valor de 40,8 pp para el 2012 y tuvo una disminución año a año hasta el 2018 para alcanzar un valor mínimo de 34,7 pp, lo que implica una brecha en 6,1 pp; después de este punto mínimo la medida tiende a crecer hasta llegar al punto máximo de la serie en el 2020 con un valor de 42,5, lo que implicó un crecimiento en 7,8 pp.

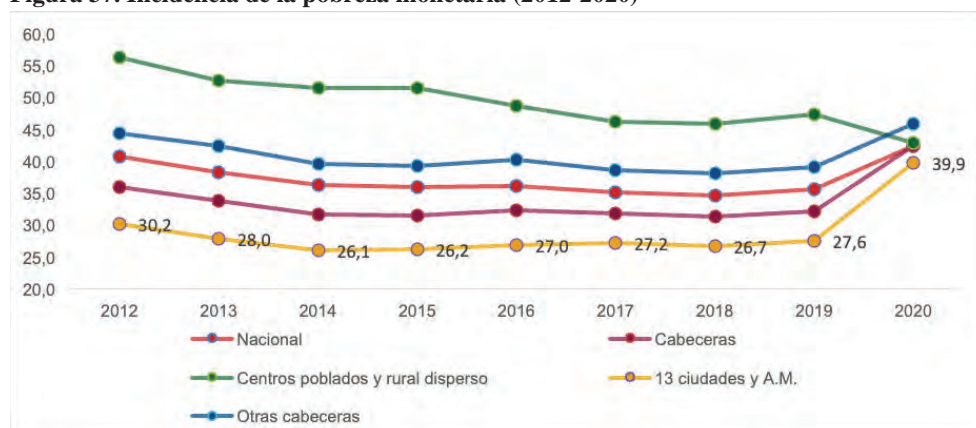
Se puede apreciar que para el subgrupo poblacional cabeceras la incidencia en el año 2012 fue de 36,0 pp y tuvo una disminución año a año hasta llegar al punto mínimo de la serie en 2018

cuando el valor fue de 31,4 pp, lo que implica una diferencia de 5,9 pp; después hay un aumento del indicador para el año 2020 que se ubicó en 42,5 pp, lo cual representó una brecha de 11,1 pp comparado con el 2018.

El subgrupo poblacional centros poblados y rural disperso fue el que presentó mayores valores en promedio en comparación con las otras series poblacionales, el mayor valor se dio en el 2012 donde la medida de pobreza fue de 56,4 pp y disminuyó anualmente hasta llegar a un valor mínimo en el 2018 de 46,0 pp lo que implicó una disminución en 16,4 pp; después de ello presenta un leve aumento para el 2019 en 1,5 pp, para ubicarse finalmente en el menor punto de la serie para el siguiente año, donde la media fue de 42,9.

Las estimaciones indican que el subgrupo poblacional que presentó menores valores en esta medida de pobreza fue trece ciudades principales y áreas metropolitanas. El menor valor se registró en el 2014, este fue de 26,1 pp, la medida presentó variaciones marginales año a año, hasta llegar al 2020 donde se dio el mayor valor de la serie, el cual es de 39,9 pp, con una brecha de 13,7 comparado con el 2014.

**Figura 37. Incidencia de la pobreza monetaria (2012-2020)**



Fuente: elaboración propia a partir de DANE (2020).

La **tabla 20** representa la incidencia de la pobreza monetaria según características del jefe del hogar, se puede observar que para el subgrupo poblacional *sexo* esta medida se concentra en mayor medida en las mujeres en comparación con los hombres, el mayor valor para estas se da en otras cabeceras, el cual es de 52,1 pp y el menor para trece ciudades y áreas metropolitanas con un valor de 42,7, lo cual representa una diferencia de 9,4 pp. Para los hombres esta medida tiene su mayor valor en otras cabeceras, 41,8 pp, y el menor valor en 13 ciudades y áreas metropolitanas con un valor de 38,0 pp.

Para el subgrupo poblacional grupos etarios (edad), la incidencia en la pobreza se ve reflejada mayormente en el de cero a veinticinco años, el valor en promedio de las zonas geográficas es de 50,9 pp, el mayor valor para este subgrupo es de 44,5 pp para centros poblados y rural disperso, y el mayor es de 55,3 pp para otras cabeceras, lo cual implica una diferencia de 10,8 pp. Los menores valores se presentan en el subgrupo etario mayor a 65 años con el menor valor para la zona trece ciudades y áreas metropolitanas, de 24,7 pp, y con un mayor valor para centros poblados y rural disperso, de 36,2 pp, con una diferencia entre ambas zonas de 11,5 pp. Para los niveles educativos se puede apreciar que el índice de incidencia monetaria tiene los mayores valores para aquellos que no poseen algún nivel educativo o solo básica primaria, para la zona geográfica otras cabeceras se presenta el mayor valor el cual es de 55,2 pp, el menor valor en esta categoría esta para los centros poblados y rural disperso, el cual es de 46,5 pp. Los menores valores se presentan para aquellos que poseen posgrado o universidad, el menor valor se registra en la zona geográfica trece ciudades y áreas metropolitanas y el mayor para centros poblados y rural disperso, 17,4 pp.

Para la situación laboral, los desocupados son los que presentan los mayores valores dentro del subgrupo poblacional, el valor promedio para las zonas geográficas es de 68,56 pp. El grupo que presenta menores valores es el de asalariados, con un valor en promedio de 24,3 pp para las zonas geográficas. Para la posición ocupacional, los asalariados presentan lo menores valores para este índice con un valor en promedio de 24,3 pp, los mayores valores de presentan en los patronos y cuenta propia con un valor promedio de 50,92 pp. Para el subgrupo poblacional de seguridad

social, el afiliado presenta los menores valores para el cálculo de este índice que en promedio es de 16,2 pp, para los no afiliados se presentan los mayores valores que son en promedio de 52,94 pp.

La **tabla 21** muestra la incidencia de la pobreza extrema para diferentes subgrupos poblacionales. Se evidencia que esta medida es superior para las mujeres en comparación con los hombres, la incidencia en promedio para las zonas geográficas es de 18,32 pp y para los hombres es de 13,5, lo que implica una diferencia en 4,82 pp. Para el subgrupo poblacional grupos etarios (edad), la incidencia en la pobreza se ve reflejada mayormente en el de cero a veinticinco años, el valor en promedio de las zonas geográficas es de 20,6 pp, el mayor valor para este subgrupo es de 23,1 pp para centros poblados y rural disperso, y el menor es de 19,2 pp para trece ciudades y áreas metropolitanas, lo cual implica una diferencia de 3,9 pp. Los menores valores se presentan en el subgrupo etario mayor a 65 años con el menor valor para la zona trece ciudades y áreas metropolitanas de 6,8 pp, y con un mayor valor para centros poblados y rural disperso, de 11,8 pp, con una diferencia entre ambas zonas de 5,0 pp.

Para los niveles educativos se puede apreciar que el índice de incidencia monetaria tiene los mayores valores para aquellos que no poseen algún nivel educativo o solo básica primaria, para la zona geográfica otras cabeceras se presenta el mayor valor el cual es de 19,3 pp, el menor valor en esta categoría esta para los centros poblados y rural disperso, el cual es de 15,3 pp. Los menores valores se presentan para aquellos que poseen posgrado o universidad, el menor valor se registra en la zona geográfica trece ciudades y áreas metropolitanas, 5,6 pp, y el mayor para centros poblados y rural disperso, 6,4 pp.

Para la situación laboral, los desocupados son los que presentan los mayores valores dentro del subgrupo poblacional, el valor promedio para las zonas geográficas es de 39,3 pp. El grupo que presenta menores valores es el de ocupados, con un valor en promedio de 11,3 pp para las zonas geográficas. Para la posición ocupacional, los asalariados presentan los menores valores para este índice con un valor en promedio de 3,1 pp, los mayores valores de presentan en los

patronos y cuenta propia con un valor promedio de 14,88 pp. Para el subgrupo poblacional de seguridad social, el afiliado presenta los menores valores para el cálculo de este índice que en promedio es de 1,9 pp, para los no afiliados se presentan los mayores valores que son en promedio de 17,34 pp.

**Tabla 20. Incidencia de la pobreza monetaria según características del jefe de hogar**

Ítem	Población	Nacional	Cabecera	Centros poblados y rural disperso	Trece ciudades y área	Otras cabeceras
Sexo	Hombre	40,1	39,6	41,5	38,0	41,8
	Mujer	46,7	46,6	46,9	42,7	52,1
Edad	Hasta 25 años	50,7	53,0	44,5	51,0	55,3
	Entre 26 y 35 años	50,4	51,4	47,2	50,7	52,4
	Entre 36 y 45 años	47,4	47,3	47,7	45,4	50,0
	Entre 46 y 55 años	40,7	40,6	41,4	38,7	43,2
	Entre 56 y 65 años	36,2	36,1	36,2	32,6	41,9
	Mayor a 65 años	30,3	28,7	36,2	24,7	35,0
Nivel educativo	Ninguno o primaria	49,6	51,6	46,5	47,9	55,2
	Secundaria	46,3	47,8	39,1	46,7	49,3
	Técnica o tecnológica	30,2	30,6	24,8	29,4	32,4
	Universidad o posgrado	15,7	15,7	17,4	15,6	15,8
Situación laboral	Desocupados	69,1	69,7	64,5	69,7	69,8
	Ocupados	38,7	38,4	39,7	36,5	41,1
	Inactivos	44,5	43,1	50,8	37,9	50,6
Posición ocupacional	Asalariados	24,7	26,3	18,4	27,3	24,8
	Patronos y cuenta propia	50,9	50,0	53,2	47,1	53,4
Seguridad social (pensiones)	Afiliado	18,2	19,7	6,2	22,2	14,7
	No afiliado	52,4	55,1	47,1	53,8	56,3
Total		42,5	42,4	42,9	39,9	46,0

Fuente: elaboración propia a partir de DANE (2015).

**Tabla 21. Incidencia de la Pobreza Monetaria extrema según características del jefe de hogar**

Ítem	Población	Nacional	Cabecera	Centros poblados y rural disperso	Trece ciudades y áreas metropolitanas	Otras cabeceras
Sexo	Hombre	13,5	12,3	17,0	11,1	13,9
	Mujer	17,8	17,1	21,7	15,3	19,7
Edad	Hasta 25 años	20,7	19,7	23,1	19,2	20,4
	Entre 26 y 35 años	18,6	17,6	21,7	16,1	19,6
	Entre 36 y 45 años	17,8	16,7	21,4	15,0	19,0
	Entre 46 y 55 años	14,1	13,3	16,9	12,0	15,1
	Entre 56 y 65 años	12,0	11,6	13,4	10,6	13,4
	Mayor a 65 años	8,9	8,1	11,8	6,8	10,2
Nivel educativo	Ninguno o primaria	18,0	17,3	19,0	15,3	19,3
	Secundaria	16,3	15,9	18,1	14,9	17,4
	Técnica o tecnológica	9,2	9,1	10,3	7,9	11,2
	Universidad o posgrado	5,8	5,7	6,4	5,6	5,9
Situación laboral	Desocupados	38,3	37,6	43,3	36,7	39,1
	Ocupados	11,3	10,0	15,0	9,0	11,6
	Inactivos	18,3	16,8	25,3	14,1	20,6
Posición ocupacional	Asalariados	3,2	3,3	3,0	3,2	3,5
	Patronos y cuenta propia	18,2	16,5	22,6	15,5	17,6
Seguridad social (pensiones)	Afiliado	1,9	1,9	1,3	2,1	1,7
	No Afiliado	17,4	17,1	18,0	17,0	17,2
Total		15,1	14,2	18,2	12,8	16,3

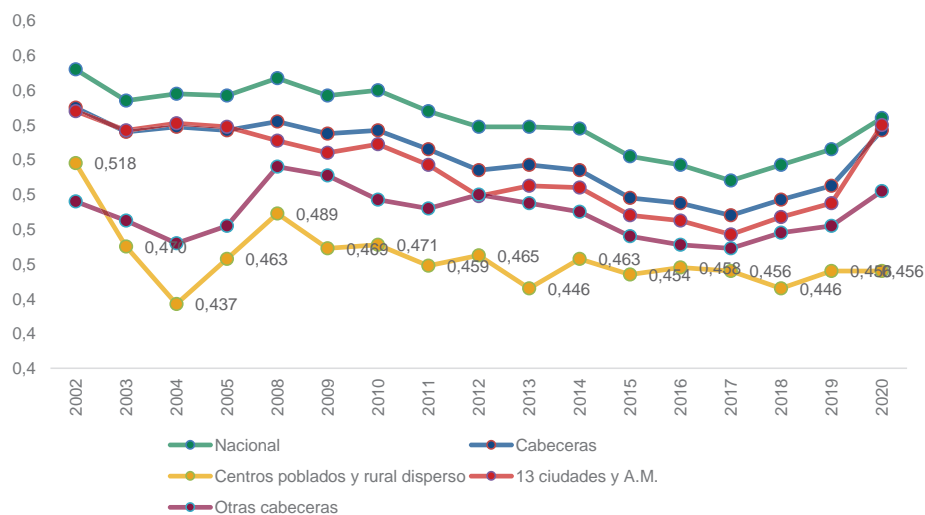
Fuente: elaboración propia a partir de DANE (2015).

La **figura 38** muestra la evolución del coeficiente de Gini. Esta medida se caracteriza por mostrar qué tan desigual es un subgrupo poblacional en función de una variable de ingreso, consumo o activos, entre otros (Alvaredo *et al.*, 2018). Para la serie temporal de 2002 a 2020 podemos observar que a nivel nacional se presentan los mayores valores de la serie para el año 2002, 0,57; después de ello tiene variaciones hasta llegar al punto mínimo de la serie en el 2017 con un valor

de 0,50, lo que representa una reducción en la medida en 0,07 puntos Gini, siguiente a ello hay un aumento hasta llegar al 2020, cuando la medida es de 0,544.

El subgrupo poblacional cabeceras en promedio es el que mayores valores presenta en comparación con los demás, para el 2002 se presenta el mayor valor de la serie, este es de 0,55, se presentan variaciones hasta llegar al 2017 cuando está el valor mínimo de la serie (0,48), lo cual implica una diferencia de 0,07 puntos Gini, para el 2020 la media aumenta a 0,53. Los menores valores para las series de los subgrupos poblacionales se presentan para el subgrupo poblacional centros poblados y rural disperso, el mayor histórico es de 0,51, y se da en el año 2002, luego hay una fuerte caída de la medida de desigualdad hasta llegar al punto mínimo histórico de la serie en el año 2004, con un valor de 0,43, representando una brecha de 0,08 puntos Gini, luego de ello hay un aumento año a año del índice hasta llegar al 2008, cuando el valor de la serie es el máximo, 0,48. Después de este año hay pequeñas fluctuaciones, hasta llegar al 2020, en este año el valor es de 0,45.

**Figura 38. Evolución del coeficiente de Gini (2002-2020)**



Fuente: Elaboración propia a partir de DANE (2020).

Detalle de la evolución del índice de Gini.

Año	Nacional	Cabeceras	Centros poblados y rural disperso	13 ciudades y A.M.	Otras cabeceras
2002	0.572	0.55	0.518	0.548	0.496
2003	0.554	0.536	0.47	0.537	0.485
2004	0.558	0.539	0.437	0.541	0.472
2005	0.557	0.537	0.463	0.539	0.482
2008	0.567	0.542	0.489	0.531	0.516
2009	0.557	0.535	0.469	0.524	0.511
2010	0.56	0.537	0.471	0.529	0.497
2011	0.548	0.526	0.459	0.517	0.497
2012	0.539	0.514	0.465	0.499	0.5
2013	0.539	0.517	0.446	0.505	0.495
2014	0.538	0.514	0.463	0.504	0.49
2015	0.522	0.498	0.454	0.488	0.476
2016	0.517	0.495	0.458	0.485	0.471
2017	0.508	0.488	0.456	0.477	0.469
2018	0.517	0.497	0.446	0.487	0.478
2019	0.526	0.505	0.456	0.495	0.478
2020	0.544	0.537	0.456	0.54	0.502

Fuente: Elaboración propia a partir de DANE (2020).

La **tabla 22** representa la proyección de deciles en renta disponible per cápita en un escenario de políticas públicas en bioeconomía. Se puede apreciar que los resultados indican que el subgrupo poblacional que mejor se vio favorecido fue el rural, la tasa de crecimiento para los deciles en promedio fue de 79 %. El segundo decil poblacional fue el que más creció, en promedio la tasa de crecimiento fue del 105 %, los siguientes dos mayores valores se dieron para el decil tres y cuatro respectivamente, con tasas de crecimiento de 92 % y 91 % respectivamente. Si comparamos en la renta per cápita disponible para el 2030 entre el segundo decil de urbano y rural, podemos apreciar que los valores son de COP 7.741.931 y COP 7.319.709, esto indica una diferencia de COP 422.221, a pesar de que los valores para rural son mayores que urbano, la diferencia se da en la tasa de crecimiento anual, donde en rural es mayor, por lo que el bienestar aumenta para este subgrupo poblacional. Por otra parte, podemos apreciar que la tasa de crecimiento para los deciles más ricos en rural y urbano, fueron los que menor crecimiento tuvieron tomando como año base 2015, y comparándolo con 2030. Para el subgrupo poblacional rural fue de 17 % y para el

subgrupo poblacional rural, el valor fue de 32 %, lo cual implica una brecha de 15 %. Los valores per cápita para el 2030 son de COP 64.898.491 y COP 68.215.329 respectivamente, el subgrupo urbano se ve mayormente favorecido tanto en crecimiento anual como en valor per cápita.

**Tabla 22. Proyección deciles en renta disponible per cápita, escenario políticas públicas en bioeconomía (pesos colombianos)**

DECILES	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
U1	5.380.345	5.417.839	5.491.719	5.521.272	5.556.129	5.599.838	5.651.307	5.670.425	5.711.774	5.757.385	5.809.329	5.870.061	5.942.534	6.030.300	6.137.766	6.270.239
U2	4.498.018	4.645.996	4.861.505	5.000.171	5.171.973	5.388.115	5.546.126	5.731.667	5.933.178	6.121.793	6.331.266	6.556.216	6.802.333	7.076.094	7.385.534	7.741.931
U3	5.325.578	5.520.006	5.775.521	5.940.240	6.167.063	6.468.064	6.848.878	6.994.517	7.144.937	7.404.915	7.679.021	7.972.723	8.292.600	8.646.659	9.044.698	9.488.652
U4	6.693.845	7.086.036	7.473.789	7.872.834	7.920.080	8.216.128	8.534.872	8.797.569	9.097.671	9.409.441	9.730.156	10.090.016	10.472.855	10.885.554	11.369.509	11.908.408
U5	7.834.193	8.084.706	8.388.028	8.639.910	8.936.222	9.228.025	9.552.284	9.881.511	10.219.330	10.570.425	10.940.451	11.336.160	11.765.674	12.238.870	12.767.889	13.367.319
U6	9.416.239	9.692.833	10.033.200	10.277.412	10.597.688	10.960.766	11.307.465	11.700.523	12.083.975	12.482.987	12.963.802	13.353.869	13.842.157	14.379.579	14.979.513	15.658.281
U7	11.572.408	11.861.852	12.229.604	12.476.846	12.821.180	13.216.570	13.617.357	14.026.744	14.449.364	14.891.092	15.358.970	15.863.374	16.408.358	17.022.155	17.697.758	18.453.465
U8	14.994.689	15.309.592	15.704.795	15.986.451	16.379.458	16.824.415	17.383.174	17.753.681	18.241.395	18.754.022	19.289.432	19.887.849	20.534.294	21.244.584	22.045.042	22.955.145
U9	21.608.852	22.074.258	22.251.730	22.507.054	22.888.056	23.353.889	23.833.328	24.381.369	24.858.889	25.421.417	26.081.712	26.762.230	27.488.110	28.287.685	29.243.385	30.342.555
U10	55.421.535	55.229.449	55.283.664	55.243.310	55.361.585	55.682.085	56.054.648	56.482.291	56.993.089	57.606.706	58.344.627	59.230.767	60.292.723	61.563.350	63.082.487	64.898.491
R1	2.617.449	2.710.868	2.879.483	2.970.410	3.074.031	3.181.002	3.286.590	3.391.531	3.497.072	3.604.636	3.716.827	3.835.591	3.964.250	4.106.719	4.267.890	4.453.788
R2	3.594.589	3.780.904	4.048.175	4.228.589	4.441.791	4.688.055	4.982.678	5.116.948	5.342.965	5.573.461	5.831.970	6.082.849	6.331.474	6.624.588	6.950.563	7.319.709
R3	4.927.016	5.385.228	5.487.847	5.899.372	5.933.633	6.226.994	6.498.166	6.770.978	7.045.298	7.326.420	7.627.464	7.932.489	8.250.621	8.606.475	9.001.520	9.444.400
R4	5.998.332	6.301.959	6.654.066	6.955.789	7.214.033	7.547.829	7.881.180	8.215.590	8.553.684	8.899.047	9.256.220	9.630.838	10.029.793	10.461.790	10.937.572	11.470.388
R5	7.462.808	7.801.334	8.186.458	8.494.132	8.893.973	9.173.130	9.542.385	9.913.572	10.289.714	10.674.692	11.074.217	11.493.978	11.941.913	12.427.613	12.962.983	13.561.651
R6	8.344.732	8.746.995	9.196.121	9.300.783	9.950.267	10.411.149	10.873.220	11.238.489	11.830.349	12.393.442	12.789.636	13.308.125	13.875.850	14.477.861	15.137.910	15.872.929
R7	10.894.138	11.356.146	11.886.780	12.281.639	12.780.222	13.331.205	13.894.579	14.442.963	15.000.882	15.595.559	16.198.875	16.855.550	17.534.546	18.249.421	19.057.002	19.957.980
R8	13.450.135	13.983.320	14.593.404	15.053.389	15.743.914	16.303.917	16.969.327	17.643.636	18.332.267	19.042.933	19.784.294	20.567.476	21.405.902	22.316.116	23.318.594	24.438.499
R9	15.564.289	20.159.994	20.863.819	21.376.905	22.063.515	22.820.105	23.594.223	24.380.660	25.186.791	26.022.253	26.898.848	27.830.840	28.835.596	29.934.483	31.153.913	32.516.343
R10	51.512.679	52.770.010	53.340.116	52.703.429	53.995.584	54.592.902	55.077.195	56.014.938	57.022.495	58.119.652	59.316.322	60.678.173	62.197.959	63.937.389	65.913.663	68.215.329

Fuente: Elaboración propia.

La **tabla 23** presenta la proyección de deciles en renta disponible per cápita, en un escenario de políticas de capital humano. Se puede apreciar que, en promedio, el subgrupo poblacional que más se vio favorecido fue el rural con una tasa de crecimiento promedio de 85 %, en comparación con el urbano que tuvo un crecimiento promedio de 66 %. Los deciles que más se ven favorecidos son los primeros tres, con tasas de crecimiento de 102 %, 138 % y 109 % respectivamente, el decil que presentó una tasa de crecimiento menor fue el diez con un crecimiento del 18 %. Por su parte, para el subgrupo poblacional rural los mayores valores también se dan para los tres primeros deciles, y el menor para el último, con una tasa de decrecimiento del 10 %.

Para el segundo decil en el subgrupo rural el valor per cápita es de COP 8.475.877 y para urbano es de COP 9.149.900, a pesar de que para el segundo subgrupo el valor es mayor, la tasa

de crecimiento del primero es más alta, por lo cual se tiene un mayor impacto en el subgrupo rural, la tasa de crecimiento del segundo decil rural es de 104 %, la diferencia respecto al urbano es de 34 %. Al observar el último decil podemos apreciar que la tasa de crecimiento para ambos subgrupos (urbano, rural) es la más baja. El valor per cápita para urbano es de COP 50.069.868 y para rural es de COP 60.907.051, lo cual implica una diferencia en términos reales de COP 10.837.182, y una diferencia de tasas de crecimiento en 28 %, por lo cual las políticas con componente de capital humano benefician mayoritariamente al subgrupo poblacional rural.

**Tabla 23. Proyección deciles en renta disponible per cápita, escenario políticas capital humano**

DECILES	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
U1	5,300,345	5,473,180	5,606,737	5,695,982	5,789,374	5,883,975	5,977,663	6,072,276	6,169,852	6,272,605	6,382,996	6,503,829	6,638,370	6,790,511	6,964,929	7,167,240
U2	4,488,018	4,741,269	5,067,260	5,318,024	5,598,882	5,890,854	6,177,890	6,462,205	6,746,856	7,035,497	7,332,373	7,642,421	7,971,444	8,326,416	8,715,809	9,149,900
U3	5,325,978	5,619,758	5,990,671	6,279,418	6,609,837	6,957,036	7,297,900	7,635,004	7,971,949	8,313,060	8,663,355	9,028,667	9,415,840	9,833,081	10,290,339	10,799,686
U4	6,963,845	7,289,110	7,696,594	8,014,206	8,385,539	8,779,226	9,165,103	9,545,935	9,925,724	10,309,331	10,702,425	11,111,609	11,544,638	12,010,820	12,521,455	13,090,268
U5	7,834,193	8,172,181	8,585,548	8,904,389	9,281,826	9,683,713	10,076,123	10,462,041	10,845,707	11,232,243	11,627,614	12,038,769	12,473,883	12,942,780	13,457,406	14,032,289
U6	9,416,239	9,765,927	10,186,941	10,506,849	10,894,510	11,311,014	11,716,403	12,113,957	12,508,283	12,904,916	13,310,302	13,731,950	14,178,716	14,661,262	15,197,581	15,788,490
U7	11,572,408	11,914,808	12,322,251	12,621,250	12,995,252	13,402,797	13,798,423	14,186,282	14,571,738	14,961,056	15,361,435	15,781,220	16,230,255	16,720,378	17,266,005	17,884,667
U8	14,994,689	15,342,925	15,753,378	16,038,716	16,412,322	16,827,450	17,229,355	17,623,567	18,016,760	18,416,508	18,831,404	19,271,351	19,748,029	20,275,464	20,870,721	21,554,521
U9	21,606,852	21,852,127	22,142,118	22,289,977	22,534,777	22,833,337	23,121,528	23,408,910	23,705,316	24,021,054	24,367,362	24,756,936	25,204,671	25,728,304	26,349,269	27,093,373
U10	55,421,535	54,815,730	54,103,827	53,222,970	52,418,366	51,709,363	51,015,707	50,370,469	49,800,160	49,328,239	48,977,853	48,773,733	48,744,506	48,923,437	49,349,860	50,069,868
R1	2,617,469	2,785,419	2,999,480	3,158,446	3,328,882	3,500,343	3,667,420	3,831,029	3,992,630	4,154,014	4,317,391	4,485,354	4,661,033	4,848,273	5,061,836	5,277,579
R2	3,564,589	3,866,177	4,240,825	4,529,346	4,850,108	5,178,843	5,498,987	5,811,662	6,119,100	6,424,281	6,730,849	7,043,190	7,366,573	7,707,479	8,073,943	8,475,877
R3	4,927,616	5,263,434	5,671,404	5,986,017	6,341,013	6,706,937	7,061,989	7,407,310	7,745,333	8,079,353	8,413,420	8,752,418	9,102,219	9,470,049	9,864,869	10,297,757
R4	5,998,332	6,379,941	6,836,846	7,191,817	7,600,093	8,024,006	8,434,345	8,832,019	9,219,519	9,600,384	9,979,036	10,360,857	10,752,341	11,161,515	11,598,373	12,075,318
R5	7,463,828	7,872,768	8,354,307	8,725,051	9,152,564	9,596,865	10,025,730	10,440,435	10,843,899	11,240,137	11,634,106	12,031,798	12,440,424	12,868,874	13,328,189	13,833,039
R6	8,344,732	8,810,835	9,353,407	9,775,821	10,276,014	10,801,600	11,308,406	11,797,437	12,271,728	12,735,644	13,194,675	13,655,512	14,126,249	14,616,907	15,139,988	15,711,034
R7	10,884,138	11,422,398	12,045,327	12,525,438	13,099,000	13,704,494	14,287,887	14,850,922	15,397,625	15,933,547	16,465,551	17,001,932	17,552,696	18,130,178	18,749,717	19,430,329
R8	13,450,335	14,047,549	14,740,531	15,273,120	15,920,579	16,611,113	17,277,393	17,922,486	18,551,872	19,172,694	19,793,600	20,424,947	21,079,176	21,771,549	22,520,970	23,350,775
R9	19,564,299	20,235,153	21,022,100	21,605,054	22,331,869	23,116,508	23,877,062	24,602,560	25,330,757	26,047,315	26,770,704	27,514,498	28,294,928	29,131,795	30,049,515	31,078,106
R10	51,512,679	51,703,064	52,038,497	52,118,772	52,411,247	52,833,633	53,251,096	53,686,757	54,162,718	54,701,320	55,326,626	56,065,791	56,950,901	58,020,290	59,320,379	60,907,051

Fuente: Elaboración propia.

La **tabla 24** representa la proyección de deciles en renta disponible per cápita, en un escenario de políticas de productividad. Se observa que para los subgrupos poblacionales urbano y rural, el que mayor tiene tasa de crecimiento es el segundo. Las mayores tasas de crecimiento se vieron para los deciles dos, tres y cuatro, con tasas de 109 %, 149 % y 118 % respectivamente, el decil que menos creció fue el diez, con 18 %. Para el subgrupo poblacional urbano los deciles que mayor crecimiento tuvieron fueron los mismos (2, 3, 4), y el que menor crecimiento tuvo fue el diez.

La renta per cápita de los individuos pertenecientes al segundo decil en el subgrupo poblacional urbano fue de COP 8.860.398 y del urbano fue de COP 9.419.615 lo que representa una brecha en COP 559.127, a pesar de ello la tasa de crecimiento del subgrupo poblacional urbano es superior en 40 % respecto a la rural, por lo cual el impacto para este subgrupo es mayor. Para el decil diez del subgrupo poblacional rural la tasa de crecimiento fue la menor, del 18 %, y la renta per cápita fue de \$60.876.102, para urbano la tasa de crecimiento fue negativa, de menos 13 %, y el valor de la renta per cápita se situó en COP 48.420.870, por lo cual hay una brecha de COP 12.455.232 entre los dos deciles de los subgrupos poblacionales en términos absolutos y de 31 % en tasas de crecimiento.

Finalmente es importante destacar que, en términos generales las tasas de crecimiento disminuyen decil a decil, pero el valor de la renta per cápita aumenta también decil a decil, por lo cual hay una relación inversa entre tasa de crecimiento de la renta y valor per cápita de la renta disponible en escenario de políticas públicas en productividad.

**Tabla 24. Proyección deciles en renta disponible per cápita, escenario políticas en productividad**

DECILES	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
U1	5.380.345	5.483.607	5.630.883	5.732.659	5.836.510	5.939.587	6.040.094	6.140.075	6.241.737	6.347.459	6.459.841	6.581.843	6.716.901	6.869.082	7.043.290	7.245.396
U2	4.488.018	4.764.774	5.125.818	5.410.589	5.722.395	6.041.473	6.351.858	6.656.050	6.957.452	7.260.089	7.568.480	7.887.914	8.224.586	8.585.813	8.980.557	9.419.615
U3	5.325.978	5.648.306	6.060.110	6.388.555	6.755.044	7.133.754	7.501.652	7.861.653	8.217.770	8.574.766	8.938.002	9.313.734	9.709.275	10.133.256	10.596.221	11.110.871
U4	6.963.845	7.323.178	7.778.171	8.142.089	8.555.675	8.986.395	9.404.117	9.811.987	10.214.479	10.616.967	11.025.519	11.447.236	11.890.418	12.364.870	12.882.584	13.458.019
U5	7.834.193	8.210.174	8.672.629	9.039.207	9.460.000	9.899.749	10.324.631	10.738.041	11.144.721	11.550.332	11.961.280	12.385.039	12.830.358	13.307.604	13.829.454	14.411.223
U6	9.416.239	9.810.157	10.283.323	10.653.879	11.087.367	11.543.786	11.983.352	12.409.809	12.828.304	13.244.955	13.666.711	14.101.651	14.559.254	15.050.795	15.590.653	16.193.717
U7	11.572.408	11.966.616	12.425.746	12.774.318	13.192.214	13.637.308	14.064.624	14.478.865	14.885.984	15.292.852	15.707.257	16.138.153	16.596.034	17.093.451	17.645.651	18.271.136
U8	14.994.689	15.408.350	15.872.730	16.208.978	16.626.412	17.078.125	17.510.274	17.929.100	18.341.955	18.757.085	19.183.819	19.632.746	20.116.267	20.649.286	21.249.796	21.939.667
U9	21.606.852	21.939.236	22.267.794	22.448.187	22.715.108	23.027.674	23.324.179	23.615.286	23.911.587	24.224.042	24.564.906	24.947.586	25.387.685	25.904.134	26.519.316	27.260.452
U10	55.421.535	54.975.275	54.158.901	53.148.719	52.185.985	51.309.681	50.451.878	49.648.856	48.927.928	48.312.561	47.828.201	47.500.010	47.356.769	47.434.471	47.772.977	48.420.870
R1	2.617.469	2.799.316	3.036.687	3.218.599	3.410.463	3.601.193	3.785.339	3.963.962	4.138.708	4.311.615	4.485.003	4.661.679	4.844.999	5.038.980	5.248.662	5.480.171
R2	3.564.589	3.891.565	4.309.255	4.640.635	5.001.928	5.367.402	5.720.215	6.061.699	6.394.438	6.721.813	7.047.720	7.376.923	7.715.114	8.069.082	8.447.375	8.860.398
R3	4.927.616	5.292.553	5.749.295	6.112.544	6.513.562	6.921.197	7.313.302	7.691.251	8.057.875	8.416.932	8.772.763	9.130.688	9.497.067	9.879.482	10.287.491	10.732.737
R4	5.998.332	6.414.257	6.928.614	7.341.213	7.804.376	8.278.278	8.733.182	9.170.233	9.592.380	10.003.699	10.408.954	10.814.034	11.226.006	11.653.312	12.106.641	12.599.052
R5	7.463.828	7.910.717	8.452.918	8.884.234	9.369.057	9.865.267	10.340.187	10.795.382	11.234.275	11.661.460	12.082.281	12.503.283	12.932.297	13.378.680	13.854.231	14.373.352
R6	8.344.732	8.856.981	9.471.320	9.965.835	10.534.674	11.122.752	11.685.226	12.223.403	12.740.893	13.242.746	13.734.911	14.224.736	14.721.050	15.234.432	15.778.273	16.368.979
R7	10.884.138	11.479.639	12.185.179	12.747.866	13.399.447	14.075.532	14.721.500	15.339.500	15.934.258	16.512.130	17.080.563	17.648.633	18.227.215	18.829.345	19.471.424	20.173.529
R8	13.450.335	14.115.436	14.898.968	15.521.283	16.252.249	17.017.496	17.749.432	18.451.684	19.130.548	19.794.090	20.451.701	21.114.653	21.796.399	22.513.114	23.284.952	24.136.569
R9	19.564.299	20.330.546	21.224.268	21.912.145	22.735.444	23.605.536	24.437.582	25.237.424	26.013.856	26.777.675	27.541.352	28.319.584	29.129.821	29.993.057	30.935.221	31.987.996
R10	51.512.679	51.865.195	52.244.666	52.353.897	52.651.153	53.063.111	53.461.969	53.873.310	54.320.584	54.827.169	55.419.353	56.125.646	56.979.441	58.021.831	59.301.061	60.876.102

Fuente: Elaboración propia.

La **tabla 25** muestra la proyección de deciles en renta per cápita disponible para los subgrupos rural y urbano. Tomando como base el año 2015 y el año final el 2030, se puede apreciar que los

valores de las tasas de crecimiento son mayores para la zona rural y menores para la urbana, con valores promedio de 68 % y de 44 % respectivamente.

Se puede observar que los mayores valores para el subgrupo poblacional rural se dan para los deciles dos, tres y cuatro, con valores en las tasas de crecimiento de 91%, 79% y 79%, la menor tasa de crecimiento se da para el decil diez. Este fenómeno se repite para las zonas urbanas donde las tasas de crecimiento son mayores para los deciles dos a cuatro, y la menor para el decil diez. A medida que aumenta el decil también lo hace la renta per cápita disponible, pero disminuye la tasa de crecimiento para ambos subgrupos poblacionales, por lo cual existe una relación inversa en estas dos medidas.

Para el segundo decil del subgrupo poblacional rural se puede observar que la renta per cápita es de COP 6.796.210, y para el subgrupo urbano es de COP 7.125.412, por lo cual hay una brecha en términos absolutos de COP 320.202, pero la tasa de crecimiento del subgrupo urbano es superior a la del rural en 32%, lo cual indica que hay un mayor impacto en este sector. Por su parte, la renta per cápita es de COP 63.858.065 para rural y de COP 60.725.626 para urbano, lo cual indica una brecha de COP 3.132.439 en términos reales y de 14% en tasas de crecimiento, ambas favorables para el sector rural.

**Tabla 25. Proyección deciles en renta disponible per cápita, escenario base**

DECILES	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
U1	5.380.345	5.417.910	5.481.343	5.519.677	5.552.570	5.587.188	5.620.301	5.652.352	5.683.987	5.715.939	5.748.976	5.783.072	5.817.439	5.852.139	5.887.597	5.923.905
U2	4.488.018	4.646.072	4.880.343	4.997.490	5.163.902	5.343.344	5.518.420	5.692.667	5.884.044	6.094.766	6.206.108	6.379.733	6.556.875	6.738.137	6.928.101	7.125.412
U3	5.325.878	5.520.087	5.773.826	5.944.190	6.156.151	6.388.312	6.637.048	6.943.005	7.307.294	7.731.337	7.516.719	7.745.105	7.978.221	8.217.844	8.465.817	8.724.059
U4	6.963.845	7.186.110	7.471.838	7.666.631	7.915.844	8.191.188	8.465.228	8.755.597	9.094.525	9.273.608	9.544.640	9.819.515	10.100.156	10.388.709	10.687.157	10.997.733
U5	7.614.193	8.084.762	8.395.798	8.613.000	8.891.536	9.201.534	9.508.561	9.813.296	10.117.065	10.421.583	10.728.768	11.040.640	11.359.289	11.686.872	12.025.625	12.377.882
U6	9.416.139	9.692.955	10.020.385	10.269.494	10.580.838	10.930.546	11.277.769	11.623.251	11.988.442	12.355.222	12.655.689	13.027.049	13.386.583	13.763.644	14.148.674	14.553.225
U7	11.574.408	11.983.824	12.216.462	12.467.412	12.801.389	13.181.282	13.593.562	13.937.177	14.315.814	14.697.608	15.094.906	15.401.150	15.805.942	16.304.556	16.798.959	17.191.834
U8	14.994.689	15.395.516	15.780.813	15.974.677	16.349.900	16.780.897	17.212.170	17.645.879	18.078.419	18.518.084	18.965.793	19.414.463	19.868.882	20.366.218	20.895.551	21.428.101
U9	21.636.852	22.674.063	22.246.097	22.480.773	22.854.507	23.294.704	23.737.497	24.185.051	24.640.368	25.106.613	25.588.239	26.087.345	26.609.479	26.809.879	27.156.393	28.340.893
U10	55.421.535	55.228.718	55.270.029	55.285.347	55.304.629	55.299.054	55.940.432	56.156.102	56.513.936	56.921.040	57.384.153	57.903.046	58.300.656	58.164.580	58.904.070	60.725.626
R1	2.617.469	2.730.888	2.878.124	2.969.215	3.074.442	3.176.108	3.278.148	3.377.829	3.475.677	3.572.380	3.668.723	3.765.348	3.861.745	3.964.244	4.068.024	4.176.112
R2	3.564.589	3.780.197	4.047.308	4.225.858	4.435.838	4.657.051	4.874.136	5.087.407	5.297.661	5.506.013	5.713.763	5.922.332	6.133.230	6.348.047	6.568.454	6.796.210
R3	4.927.616	5.183.261	5.486.525	5.895.880	5.946.036	6.212.479	6.474.800	6.738.410	6.989.103	7.243.148	7.497.006	7.752.272	8.010.644	8.278.936	8.549.937	8.822.712
R4	5.998.332	6.301.974	6.652.665	6.901.448	7.204.713	7.530.931	7.852.999	8.171.174	8.486.376	8.799.960	9.113.542	9.428.812	9.747.981	10.072.773	10.405.416	10.748.157
R5	7.463.828	7.801.356	8.184.809	8.458.025	8.789.060	9.153.321	9.508.420	9.861.723	10.211.310	10.559.712	10.908.759	11.260.421	11.616.615	11.980.161	12.352.795	12.737.173
R6	8.344.732	8.746.973	9.193.978	9.524.274	9.956.504	10.386.373	10.832.284	11.274.547	11.714.147	12.152.908	12.592.807	13.036.084	13.485.137	13.942.469	14.410.844	14.892.992
R7	10.884.138	11.356.112	11.883.986	12.273.200	12.762.432	13.299.278	13.833.947	14.363.882	14.887.540	15.414.022	15.944.858	16.476.755	17.018.631	17.571.551	18.138.735	18.723.578
R8	13.450.135	13.983.866	14.588.610	15.042.011	15.619.995	16.261.158	16.898.097	17.534.508	18.169.248	18.805.910	19.447.544	20.097.389	20.758.999	21.435.679	22.131.515	22.850.196
R9	19.594.289	20.159.865	20.848.713	21.361.700	22.011.949	22.763.918	23.592.344	24.238.074	24.974.000	25.713.516	26.460.598	27.219.487	27.994.611	28.796.586	29.612.235	30.464.630
R10	51.512.679	51.769.459	51.327.350	52.687.011	53.274.912	54.061.046	54.865.294	55.690.002	56.542.148	57.428.709	58.356.742	59.331.113	60.344.558	61.427.840	62.619.913	63.868.065

Fuente: Elaboración propia

En la **tabla 26** se observa la proyección del ingreso per cápita para cada uno de los deciles y su proyección de crecimiento al final del período de estudio.

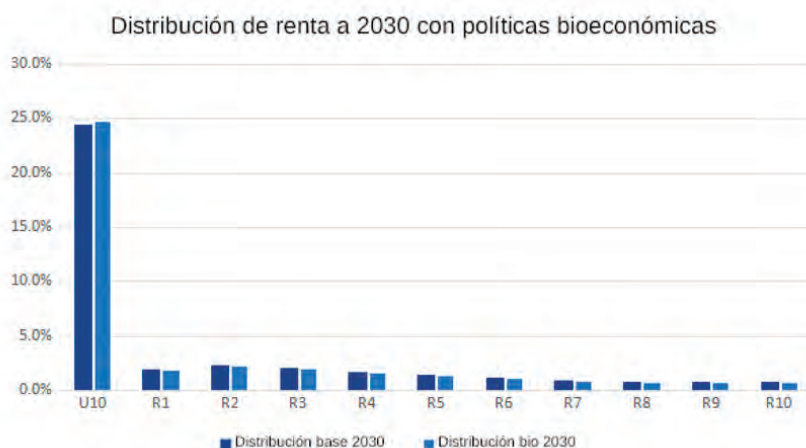
**Tabla 26. Proyección de ingreso promedio per cápita por deciles**

YPC (M)	2015	2030	%
D1	3762,4	4914,5	1,8 %
D2	4095,2	6985,4	3,6 %
D3	5205,0	8754,0	3,5 %
D4	6751,4	10942,8	3,3 %
D5	7776,0	12434,3	3,2 %
D6	9290,5	14593,1	3,1 %
D7	11516,6	17316,0	2,8 %
D8	14894,5	21520,3	2,5 %
D9	21508,9	28442,8	1,9 %
D10	55317,2	60809,2	0,6 %

Fuente: elaboración propia.

A continuación, en la **figura 39**, se observa la distribución del ingreso per cápita por deciles de ingreso, resultado de las simulaciones.

**Figura 39. Distribución de renta por deciles a 2030**



Fuente: elaboración propia.

Puede verse que la mayor concentración está en los hogares ricos urbanos, no se presenta la misma situación en los hogares rurales ricos al final de la proyección (tabla 27).

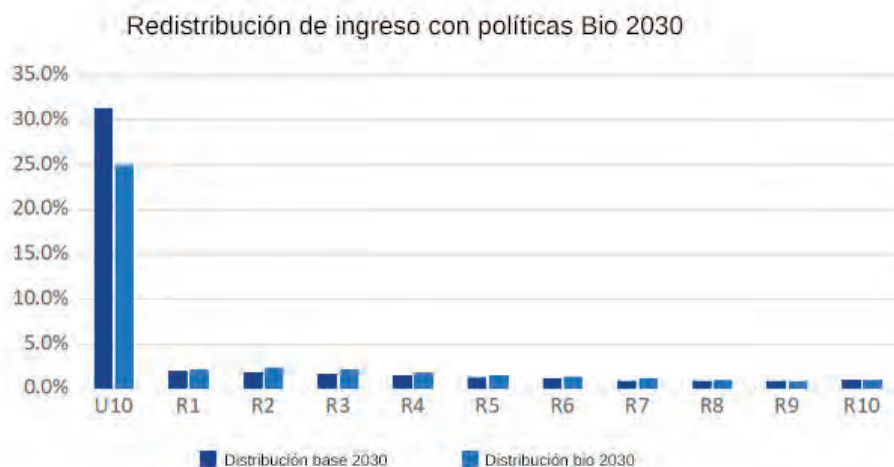
**Tabla 27. Impacto sobre los diferentes hogares al final de la proyección**

Deciles	Distribución base 2015	Distribución base 2030	Distribución Bio 2015	Distribución Bio 2030
U1	2,3 %	1,9 %	2,4 %	1,9 %
U2	2,6 %	3,1 %	2,7 %	3,2 %
U3	3,6 %	4,3 %	3,7 %	4,4 %
U4	4,9 %	5,7 %	5,0 %	5,8 %
U5	5,7 %	6,6 %	5,8 %	6,8 %
U6	6,9 %	7,8 %	7,1 %	8,0 %
U7	9,6 %	10,0 %	8,4 %	9,1 %
U8	9,6 %	10,0 %	9,8 %	10,2 %
U9	13,3 %	12,8 %	13,6 %	13,0 %
U10	30,4 %	24,4 %	31,1 %	24,7 %
R1	1,6 %	1,9 %	1,6 %	1,9 %
R2	1,6 %	2,2 %	1,6 %	2,2 %
R3	1,5 %	1,9 %	1,5 %	1,9 %
R4	1,2 %	1,6 %	1,2 %	1,6 %
R5	1,0 %	1,3 %	1,0 %	1,3 %
R6	0,8 %	1,1 %	0,8 %	1,1 %
R7	0,7 %	0,9 %	0,7 %	0,9 %
R8	0,6 %	0,7 %	0,6 %	0,7 %
R9	0,6 %	0,7 %	0,6 %	0,7 %
R10	0,8 %	0,7 %	0,8 %	0,7 %

Fuente: elaboración propia.

Observando los resultados a partir del decil 10 se nota que para el año 2030 con políticas *Bio* se percibe una leve redistribución del ingreso en los hogares más pobres como se aprecia en la figura 40. Los ingresos que disminuyen en los hogares ricos urbanos son percibidos por los hogares rurales más vulnerables.

**Figura 40. Redistribución de ingreso con políticas *Bio***



Fuente: elaboración propia a partir de las simulaciones del modelo de equilibrio general.

## 6.8 Resumen y conclusiones

El modelo de equilibrio general computable (MEGC) con aplicación de políticas enfocadas a la bioeconomía presenta resultados favorables en variables clave. Por un lado, las exportaciones tienden a tener aumentos significativos comparados con el escenario base, gracias a que se produce una diversificación en la canasta exportadora y, por lo tanto, hay más productos para vender en el mercado internacional, lo que influye de manera directa en la variable de empleo, la cual se ve afectada positivamente con leves aumentos en el mismo como se mencionó anteriormente. Por su parte, la acumulación de capital humano es una de las variables que mayores impactos positivos tiene lo que se puede explicar en parte por la capacitación que se le debe dar a los trabajadores con la finalidad de producir de manera sustentable y sostenible, además de las innovaciones que se aplican en este campo (bioeconomía), las cuales se ven afectadas de manera directa por esta variable.

Otro de los resultados principales que se plasman en el presente trabajo es que hay una disminución del gasto. Su explicación está en que, con el uso de recursos de manera sostenible y sustentable, se logra un mejor uso y optimización de los recursos utilizados en la producción haciendo que se disminuya el gasto de manera agregada.

La desagregación por deciles de ingreso en un escenario base indica la senda en el tiempo de los ingresos de las familias colombianas dadas las mismas condiciones económicas actuales. Se observan los problemas de concentración entre los deciles urbanos y en especial respecto a los deciles rurales. Al aplicar políticas con enfoque con un escenario de bioeconomía, se observa que hay un efecto transversal para los deciles urbanos con aumentos significativos en los primeros deciles de la distribución de ingresos (2 y 3), lo cual indica que hay un mayor efecto en los subgrupos poblacionales más pobres.

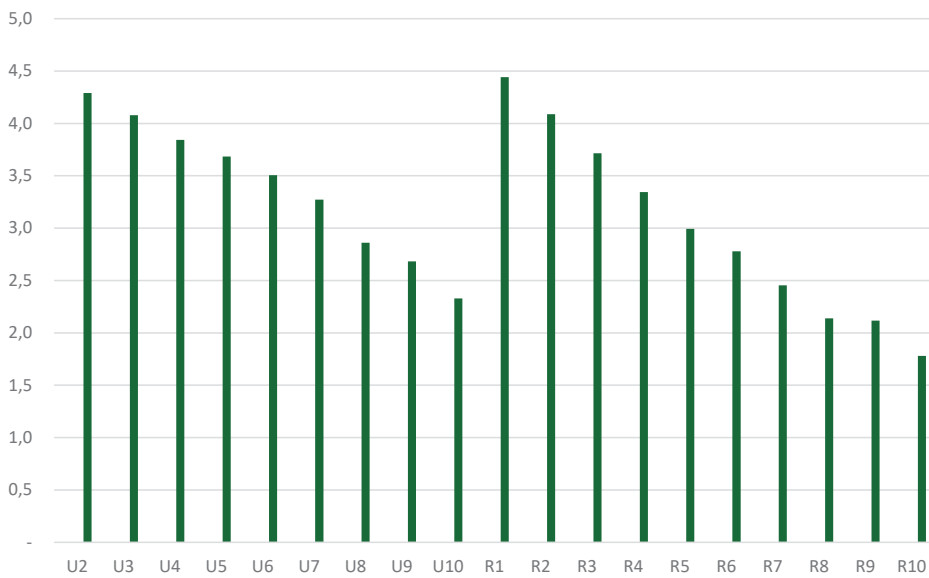
Finalmente, los mayores efectos se dan para los deciles de las zonas rurales, este efecto es esperado a partir de la generación de nuevos empleos, posibilidades comerciales, mientras que los aspectos de sostenibilidad y disponibilidad de recursos se manejan de manera sustentable, todo ello aplicado principalmente en áreas urbanas.

Para la variable empleo se observa en la **tabla 28** que, para la distribución de hogares y según la **figura 41**, en los hogares ricos en el contexto rural se cuenta con pocas personas en edad de trabajar lo que influye en las posibilidades de generar riqueza. En realidad la distribución de población en edad de trabajar entre el urbano y el rural tiene gran diferencia en número de personas. El 76,8% de la población es urbana, y los hogares rurales solo son mayoría en el primer decil de renta.

Para la población en edad de trabajar, clasificándolos como calificados y no calificados, hay más de 29 millones de personas en Colombia en edad de trabajar no calificadas y cerca de 8 millones de personas calificadas, de los 37 millones disponibles. El mayor porcentaje de personas calificadas

está en los hogares más ricos. En total, los hogares urbanos cuentan con el 95,3% del trabajo cualificado en Colombia.

**Figura 41. Población personas por hogar: resultados modelo**



Fuente: elaboración propia.

**Tabla 28. Datos de empleo: resultados modelo**

	HOGARES	POBLACION	PERSONAS POR HOGAR	EMPLEO NO CALIFICADO	EMPLEO CALIFICADO
U1	604.196	2.426.881	4,0	1.523.720	88.798
U2	773.444	3.318.092	4,3	2.148.805	149.343
U3	933.515	3.806.761	4,1	2.518.472	246.495
U4	1.035.060	3.978.009	3,8	2.652.933	370.241
U5	1.118.202	4.119.978	3,7	2.714.858	516.121
U6	1.182.424	4.145.252	3,5	2.665.296	706.297
U7	1.225.674	4.011.070	3,3	2.487.181	912.981
U8	1.258.402	3.600.147	2,9	2.064.691	1.078.678
U9	1.292.710	3.469.095	2,7	1.621.871	1.481.342
U10	1.327.626	3.093.215	2,3	873.478	1.959.968
R1	772.003	3.429.712	4,4	2.455.592	26.075
R2	600.910	2.456.155	4,1	1.846.963	33.007
R3	446.834	1.659.537	3,7	1.288.480	34.346
R4	335.582	1.122.407	3,3	898.458	37.641
R5	256.652	768.241	3,0	623.782	39.909
R6	198.390	551.121	2,8	444.943	42.139
R7	144.113	353.768	2,5	279.693	38.889
R8	116.710	249.693	2,1	194.456	34.432
R9	82.516	174.728	2,1	122.455	39.525
R10	47.628	84.828	1,8	37.417	42.694
URBANO	10.751.252	35.968.501		21.271.304	7.510.265
RURAL	3.001.336	10.850.190		8.192.239	368.658
TOTAL	13.752.589	46.818.691		29.463.543	7.878.923
PESO					
URBANO	78,2%	76,8%		72,2%	95,3%

Fuente: elaboración propia.

## 7. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El principal desafío que enfrenta el país es integrar las políticas sectoriales al desarrollo socioeconómico de sus ciudadanos. Entonces, cuando se pensó en trabajar en bioeconomía, se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo potenciar el desarrollo de Colombia hacia una bioeconomía que favorezca el desarrollo económico y social de su población con base en sus recursos biológicos y su biodiversidad?

En el país ha crecido un marcado interés por los temas relacionados con el cuidado, conservación y aprovechamiento de la gran diversidad que tiene Colombia, por esto este trabajo es fundamental para el avance del país en temas de desarrollo socioeconómico.

En 2017 se elaboró un proyecto nacional patrocinado por el Banco Mundial en el que se pudo recopilar una primera experiencia en cuanto a la visión de la bioeconomía en el país, este trabajo sirvió de base para presentar hoy estos resultados basados en las simulaciones realizadas en el modelo de equilibrio general computable que son una primera aproximación a la pregunta de cómo favorecer el desarrollo social y económico en el territorio. Los escenarios planteados permiten visualizar cómo pequeños esfuerzos en inversión y destinación de los recursos públicos pueden hacer una gran diferencia en la generación de empleo, de bienestar y renta de la población, tal como lo tienen planteados los gobernantes en sus metas.

El presente estudio es relevante en tanto es un punto de partida importante en la medición de impacto económico de políticas relacionadas con empleo, educación e innovación para el uso de la biodiversidad. Se observa en la matriz de contabilidad social del modelo de bioeconomía, la forma como se realizó la estructura del modelo. Es un aporte fundamental de este trabajo la inclusión de los veinte hogares para modelar su comportamiento en la renta de acuerdo con las políticas públicas impulsadas. El bienestar de los ciudadanos debe convertirse en prioridad para los gobiernos que apliquen políticas de desarrollo en torno a la bioeconomía. En la medida que la pobreza se reduzca y se puedan alcanzar niveles superiores de renta en la población se podrá afirmar que las políticas aplicadas fueron efectivas y causaron impacto en la población.

Los escenarios simulan comportamientos de la inversión según las decisiones de política pública sobre los recursos. Las decisiones de inversión de impuestos, destinación de recursos a educación e innovación son fundamentales para lograr el impacto de la bioeconomía en la economía colombiana. El país ha hecho grandes esfuerzos por posicionar la bioeconomía en las políticas públicas. En una noticia del diario El Tiempo, uno de los medios de comunicación más importantes del país, se informa que, según Minciencias, en la política de crecimiento verde y según el modelo bioeconómico se busca la creación de 2,5 millones de nuevos puestos de trabajo y una contribución del 10 % del PIB en 2030.

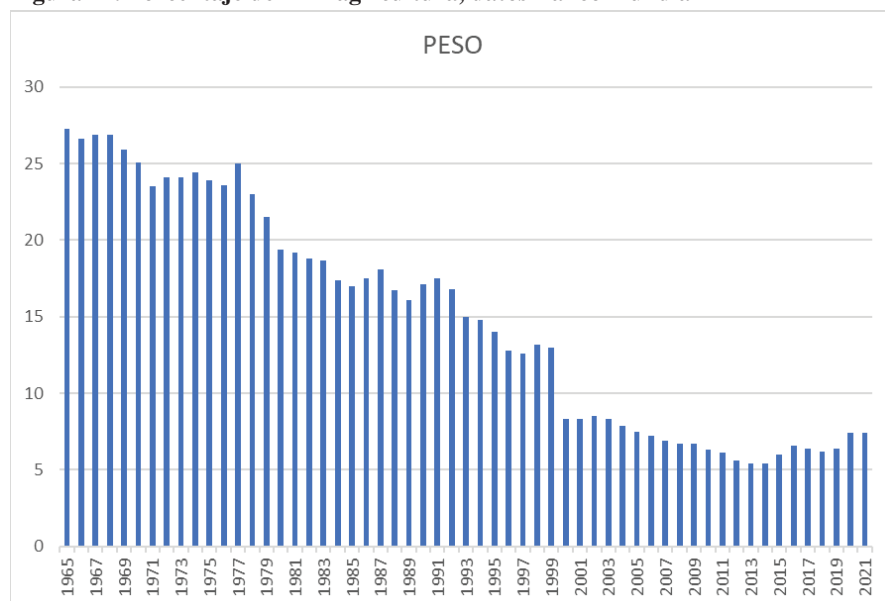
En los resultados obtenidos en las simulaciones del modelo de equilibrio general se observa que en un escenario de inversión en actividades bioeconómicas, escenario *Bio*, el PIB a 2015 puede llegar a los COP 1.215,55 billones a 2030 y la suma del PIB de los sectores priorizados es de COP 29,709 billones, lo que representaría el 2,4 %. Es decir, para llegar al 10 % se necesitaría una inversión mucho más fuerte en los sectores bioeconómicos.

El priorizar los sectores económicos fue fundamental para definir el aporte de la bioeconomía a la economía colombiana. Este trabajo no se había realizado en Colombia, y cuando se realizó en 2017, aportó al presente estudio, en la medida en que para las simulaciones realizadas en el modelo de equilibrio general permiten analizar el impacto de cada una de estas políticas en los sectores productivos. Como se observa en el trabajo, no todas las actividades desarrolladas por los sectores son actividades bioeconómicas, solo un pequeño porcentaje fue clasificado como bioeconomía. La agricultura es el sector que más reporta actividades relacionadas con la bioeconomía. Un impulso a este sector sería de gran importancia para lograr el impacto esperado en los indicadores de bienestar y productividad en el país. Se informa en el sitio web de la revista Portafolio que la economía agropecuaria, fue protagonista del PIB en 2021. En el informe se afirma que después de la pandemia, sectores como salud, industria, turismo, educación y comercio vivieron momentos críticos y se afirma que el sector agropecuario fue uno de los pocos que mantuvo sus cifras en positivo en 2020 (Portafolio, 2021). El sector agropecuario fue uno de los que más aportó a la economía colombiana: En este mismo informe publicado por el Departamento

Administrativo Nacional de Estadística, se observa que el PIB agropecuario creció el año pasado 2,8 %, mientras que la economía cayó 6,8 %.

Los resultados muestran que con la aplicación de las políticas bioeconómicas se incide positivamente en el comportamiento del crecimiento del sector agropecuario, en la política *Bio*, donde un porcentaje de la inversión se destina a actividades bioeconómicas, favorece en gran manera al sector agropecuario como se observa en la **figura 42**.

**Figura 42. Porcentaje del PIB agricultura, datos Banco mundial**



Fuente: elaboración propia (Datos del Banco Mundial 2021).

Entre el escenario base y el escenario *Bio*, se puede ver una diferencia en la tasa de crecimiento anual acumulativa del PIB agricultura de 6,1 %, lo que representa un impacto importante dado por una destinación de la inversión a actividades bioeconómicas. Según el Banco Mundial, la agricultura como porcentaje del PIB tuvo un valor de 5,511 %, mostrando un leve repunte para este último año. En Colombia representó el 7,645 % en el año 2020.

Como se observa en la figura, la agricultura como porcentaje del PIB ha venido perdiendo protagonismo en la última década, por este motivo se hace necesario invertir en políticas que reactiven el sector agrícola en el país. Analizando el comportamiento de los otros sectores se pueden observar las proyecciones económicas de Fedesarrollo (**Tabla 29**).

**Tabla 29. Proyecciones Producto Interno Bruto 2020-2021 según Fedesarrollo en Colombia**

Rama de Actividad	2018	2019	Escenario central		Escenario pesimista		Diferencia respecto a Prospectiva de agosto de 2020 (2020)	
			2020	2021	2020	2021	Central	Pesimista
<b>Sectores Productivos</b>								
Agropecuario	2,4	1,9	3,5	3,7	-3,3	3,4	1,0	1,0
Minería	-1,9	2,0	-10,8	2,3	-12,5	1,9	0,0	0,0
Industrias manufactureras	1,8	1,6	-9,0	2,7	-12,4	3,5	-6,0	-6,0
Electricidad, gas y agua	2,5	2,8	-1,0	2,9	-2,6	3,4	0,0	0,0
Construcción	-0,4	-2,0	-14,5	6,2	-20,0	5,9	-4,4	-9,0
Edificaciones	-0,6	-8,6	-20,5	6,3	-26,8	6,0	-8,3	-14,0
Obras Civiles	0,4	10,7	-5,1	6,4	-7,1	5,7	2,9	1,7
Comercio y Transporte	2,7	4,8	-14,3	5,8	-20,5	9,4	1,8	5,3
Información y comunicaciones	2,9	1,7	-2,3	3,3	-4,9	3,2	2,0	1,9
Actividades financieras y de seguros	3,6	5,7	-0,2	3,6	-1,2	4,0	2,7	2,5
Actividades inmobiliarias	2,7	3,0	2,8	3,8	1,0	4,9	11,4	11,4
Actividades profesionales, científicas y técnicas	3,8	3,7	-2,3	2,9	-3,8	2,8	-2,6	-4,1
Administración pública y defensa	4,6	4,9	4,8	2,7	5,3	2,4	-1,0	-1,9
Actividades artísticas y de entretenimiento	2,3	3,4	-20,6	3,8	-33,4	5,0	0,0	0,0

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la figura anterior, las proyecciones para el sector agropecuario son favorables respecto a los años anteriores, es decir, con apoyo desde la política pública, el sector agropecuario puede llegar a ser un gran impulsor de la economía colombiana. El sector manufacturero donde se encuentran clasificados algunos de los sectores priorizados en el estudio de bioeconomía, ha venido teniendo una contracción por el cese de actividades industriales derivados de la situación

de pandemia y las crisis del transporte internacional, entre otros factores han afectado su comportamiento.

En la pospandemia, el país enfrentó graves consecuencias, tal como sucede en otras partes del mundo, en cuanto a la productividad industrial, indicadores de empleo o reducción del consumo de los hogares:

“La contracción económica se puede exacerbar con el aumento sostenido del desempleo, considerando que el menor ingreso disponible y la consecuente reducción del consumo privado desencadenaría cierres de empresas (que en su mayoría son pequeñas y medianas) por falta de demanda, aumentando aún más el número de desocupados de la economía, creando un comportamiento cíclico de destrucción de empleo, el cual favorecería el aumento de la informalidad y la baja productividad” (Mejía *et al.*, 2021, p.6).

Bajo este supuesto, es importante que el país busque alternativas para recuperar los indicadores que se han desacelerado durante los años 2020 y 2021, por esto los resultados obtenidos con el presente trabajo pueden ser importantes para evaluar las políticas que deben adoptarse para recuperar los indicadores económicos para impulsar de nuevo la economía colombiana, contribuir al bienestar de los ciudadanos y que puedan recuperar la confianza en el consumo, además de que los indicadores de empleo y la productividad industrial se convierten en una meta que debería adoptarse desde las políticas públicas de los gobiernos que sucederán al actual gobierno.

Uno de los indicadores analizados en el trabajo doctoral son las exportaciones, un impulso a las políticas bioeconómicas puede aportar al desarrollo de productos innovadores que puedan insertarse en los mercados internacionales. Como se evidencia en los resultados, la combinación de las políticas puede hacer que las exportaciones crezcan en el largo plazo.

Con respecto a la renta, se observó en el apartado dedicado a este análisis que, aunque leve pero importante, al aplicar políticas bioeconómicas se favorece la redistribución del ingreso, se

podría llegar a pensar que, impulsando una política pública agresiva para favorecer la innovación en los sectores rurales, se podría favorecer la redistribución del ingreso e impulsar el desarrollo del agro colombiano.

El tema de la cualificación de las personas es un asunto también a analizar en el marco de estas políticas, el incremento del número de personas cualificadas económicamente activas, unido a políticas de innovación en el sector agropecuario harían del país un escenario propicio para favorecer el bienestar y la calidad de vida de su población. Para la mayoría de los países la inversión en educación representa una oportunidad importante de desarrollo a futuro para la economía. Cada persona que se eduque y complemente su educación superior será de gran importancia para la economía de cualquier país.

Los resultados obtenidos en la simulación de políticas públicas relativas a bioeconomía sugieren que combinar políticas asociadas a capital humano reflejan un impacto importante en la productividad. Asociando estos resultados con el comportamiento de los graduados en Colombia, en **la Tabla 30** se observa el total de graduados entre 2009 y 2019 en cada uno de los tipos de educación superior. La mayoría de las personas graduadas se encuentran en el rango de tecnólogos y pregrados universitarios. Si se observa el número de personas graduadas en niveles de maestría y doctorado está cerca a las 170.000 personas, lo que se considera una cifra muy baja para el nivel que se necesita para aportar al desarrollo de la bioeconomía.

**Tabla 30. Graduados de instituciones de educación superior colombianas 2009-2019, por nivel de formación**

Nivel de formación	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Total
Técnica profesional <sup>1</sup>	19.429	19.805	18.942	23.305	19.261	12.750	17.030	17.575	22.603	20.562	21.066	212.328
Tecnológica <sup>1</sup>	26.148	25.016	76.904	87.219	98.045	102.486	102.185	122.100	133.933	133.573	142.268	1.049.877
Pregrado universitario	117.981	120.737	132.839	153.573	161.732	167.897	178.379	194.823	208.917	226.508	234.815	1.898.201
Especialización	43.911	55.676	63.162	70.208	61.833	63.992	62.076	67.667	70.793	71.648	73.788	704.754
Maestría	4.803	5.933	7.669	10.260	10.589	12.074	14.602	20.402	25.351	28.928	24.846	165.457
Doctorado PhD	173	211	276	339	330	408	466	615	770	803	961	5.352
Total graduados	212.445	227.378	299.792	344.904	351.790	359.607	374.738	423.182	462.367	482.022	497.744	4.035.969

**Nota 1.** La variación en el número de graduados para los niveles de técnica profesional y tecnológica obedece a la obtención de registro calificado de programas del SENA.

El MinEduación realiza auditorías periódicas a la información reportada por las IES, esto explica diferencias con los datos suministrados en versiones previas

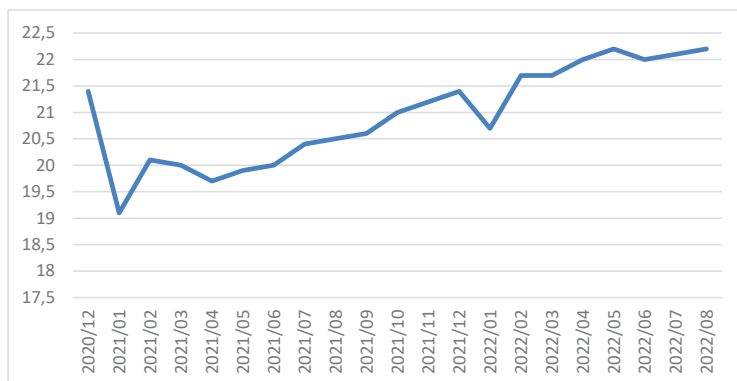
**Fuentes:** Datos tomados del Ministerio de Educación Nacional (MinEduación), Observatorio Laboral para la Educación (OLE), consulta y actualización a agosto 2020. <http://www.graduadoscolombia.edu.co:8380/eportal/web/observatorio-laboral/v>.

**Cálculos:** OCYT.

Fuente: elaboración propia.

La política bioeconómica propuesta indica que formaremos 4,9 millones de personas más en un período de quince años, si se observan los resultados del modelo presentes en la figura, se tiene que esta política favorecerá el empleo incrementando en 5.439.000 personas empleadas en un período de quince años. En términos de empleo, **la figura 43** muestra el comportamiento de empleo en Colombia en los últimos dos años.

**Figura 43. Ocupados en Colombia (millones de personas), enero 2019-septiembre 2021**



Fuente: elaboración propia.

El país debe repensar la importancia de impulsar políticas tendientes a formar personas en carreras profesionales, maestrías y doctorados que estén relacionados con el uso de recursos naturales. Otro dato importante cuando se habla de recursos humanos es analizar el comportamiento de los investigadores formados en áreas de conocimiento relacionadas con la bioeconomía, en la medida en que las políticas públicas impulsen la formación en áreas técnicas, tecnológicas, profesionales, maestrías y doctorados esto favorecerá el desarrollo de la bioeconomía. Actualmente el país tiene 5.772 grupos de investigación de los cuales el 2,5 % trabajan en agricultura, silvicultura y pesca; 93 grupos en biotecnología que corresponde al 1,6 %; el 6,3 % de los grupos son de ciencias biológicas; 408 grupos en ciencias de la salud, correspondiente a 7 % de los grupos; 116 grupos, correspondiente a 1,5%, en ciencias de la tierra y medioambientales; 169 grupos en ciencias químicas (el 2,9%); 80 en grupos en ingeniería correspondiente al 1,3%. No todos estos grupos trabajan en actividades bioeconómicas, pero hay allí un potencial importante para el desarrollo de la bioeconomía en Colombia.

La proyección del PIB a 2030 en el escenario *Bio* sugiere un PIB de COP 1.215,550 billones de pesos y en un escenario de capital humano KH se sugiere un PIB de COP 1.247,57 billones, lo que evidencia que invertir en capital humano podría reflejar un 2,5 % de incremento en el PIB. Las políticas públicas deben apuntar a la cualificación del capital humano en el país con el fin de incrementar la productividad derivada de las actividades bioeconómicas.

Con relación al empleo, la economía acoge los trabajadores cualificados, si a futuro se tuviese una oferta de trabajo cualificado eso va a tener una repercusión sobre el crecimiento de la economía. El modelo sugiere que al incrementar la oferta de un factor productivo y este se incorpora a los sectores productivos, se genera empleo y la política puede llegar a ser eficiente en términos de crecimiento de la economía.

Cuando la economía va creciendo, demanda más personal calificado y más capital. La economía tiende a necesitar más trabajo calificado y se empieza a presentar un cambio técnico

intensivo en capital y trabajo calificado. Esta situación está sucediendo en todo el mundo. Cuando un país desea mejorar sus parámetros de productividad debe hacer cambios sustanciales en la industria, ya que la productividad es la suma de todas las empresas en la economía, se pueden modificar factores, ejemplo, si se deja todo lo demás igual y se consigue que las empresas mejoren su productividad. Las empresas pueden mejorar con:

- Eficiencia
- Valor agregado
- Innovación dentro de la compañía.

Transformarse significa que una sociedad destina unos recursos a unas cosas que antes se destinaban a otras, este fue el éxito de China: introdujo un factor de competencia en la agricultura, esto disparó la productividad económica. En China se localizaron zonas económicas especializadas que llevaron la mano de obra del campo a la ciudad para que trabajaran en labores calificadas.

“A las primeras reformas siguió una estrategia de “desarticulación”, en la que secciones sucesivas de la economía se separaron del núcleo planificado. Al establecer las ZEE y aceptar la inversión extranjera, China rompió con la ortodoxia socialista. Los cambios institucionales y de políticas se localizaron geográficamente. Las políticas relativas a las ZEE se centraban en proporcionar mano de obra barata para incentivar a los inversores y las ZEE eran lugares con aeropuertos y puertos, a fin de facilitar la exportación de bienes y materiales. Las ZEE fueron el instrumento que delineó la economía China en la forma que hoy mantiene.” (Sornoza *et al.*, 2018, p. 4).

Quizás el modelo bioeconómico que deba adoptar Colombia deberá incluir una serie de reformas estructurales a nivel económico, crear una transición hacia la bioeconomía puede requerir de un cambio político, económico y administrativo con respecto a la estructura económica actual, así como inversión de los sectores que puedan dedicarse a actividades bioeconómicas.

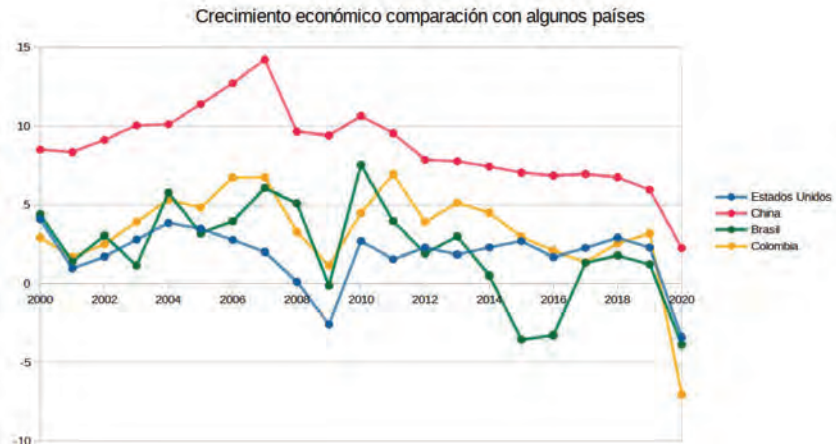
Al priorizar los sectores que tienen más potencial bioeconómicos se deben asignar los recursos en los más productivos con esto se logra mayor productividad total de los factores. El presente trabajo sugiere que desde los tomadores de decisiones se trabaje e implemente un programa de incentivos constantes a la bioeconomía para desarrollar los sectores de mayor potencial. En el caso de agricultura por ejemplo se evidencia que una inversión importante en este sector podría contribuir a la productividad y competitividad no solo del sector, sino que tendría un efecto macroeconómico positivo sobre el PIB.

El modelo abarca también el aspecto de distribución de ingreso sobre el cual se evidencian resultados positivos. Cuando se habla de ingreso hay cinco factores que influyen en su distribución: i) el capital disponible, ii) la mano de obra calificada de la familia, iii) la calidad del trabajo, iv) las redes donde se encuentre inmersa la persona y v) el grado de asistencia pública del gobierno.

Cuando hablamos de bioeconomía, también es importante analizar cómo se encuentra Colombia en comparación con otras economías a nivel global. En el sitio denominado The Global Economy, se pueden hacer comparaciones entre países, datos que sirven de base importante para realizar algunos análisis en este trabajo, como se muestra a continuación.

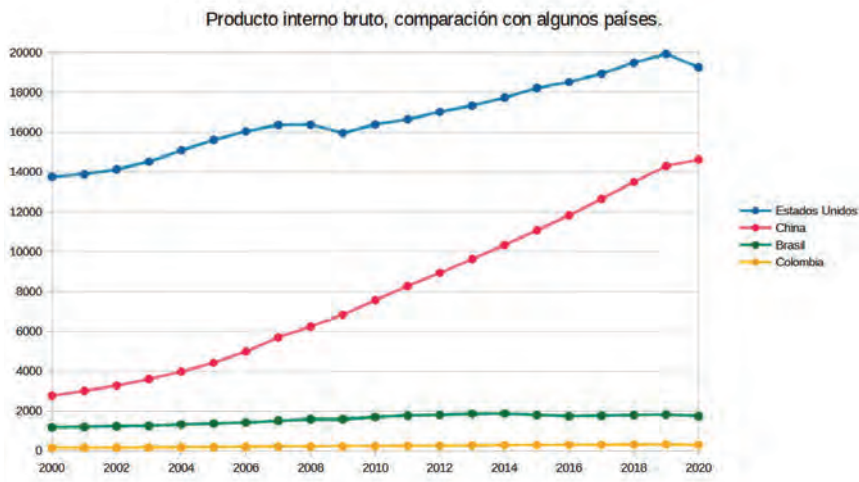
Como se observa en la **figura 44 y 45**, los países tuvieron una desaceleración importante en 2020, resultado de la pandemia, Colombia no fue la excepción, en 2019 se ve un comportamiento importante en la economía colombiana. Cuando se revisa el PIB, se observa lo siguiente: el producto interno bruto de Colombia es bajo y estable, no se aprecia una tendencia al crecimiento, cuando se realizan las simulaciones en el modelo de equilibrio general se observa una tendencia creciente, lo que sugiere que a medida que se implementan políticas para impulsar la bioeconomía, se contribuye al aumento de la productividad en el país.

**Figura 44. Crecimiento económico comparación con algunos países**



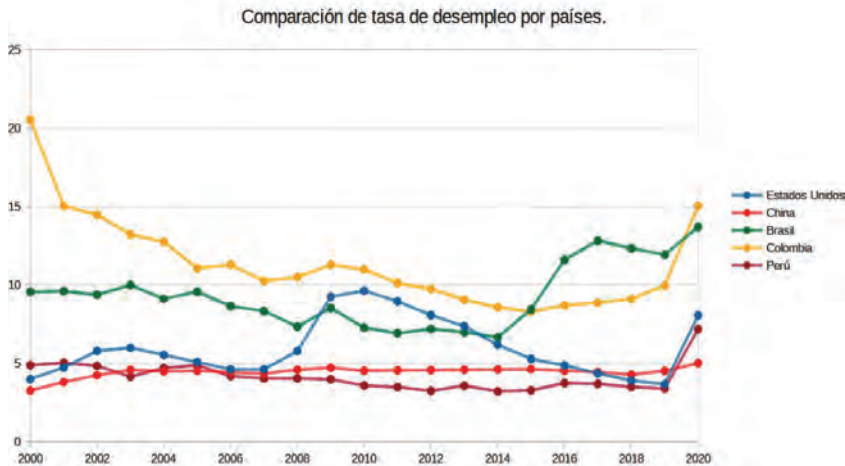
Fuente: elaboración propia a partir de The Global Economy (2021).

**Figura 45. Producto interno bruto, comparación con algunos países**



Fuente: elaboración propia a partir de The Global Economy (2021).

**Figura 46. Comparación de tasa de desempleo por países**



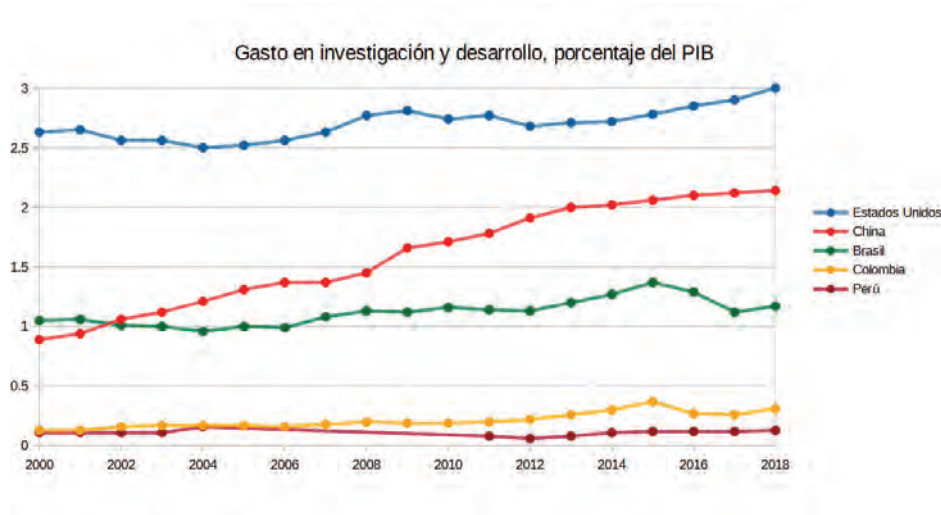
Fuente: elaboración propia a partir de The Global Economy (2021).

Se evidencia una desaceleración respecto al empleo en el tiempo de pandemia 2019, la tasa de desempleo en Colombia alcanzó máximos históricos (**Figura 46**). En general, todos los países deben adoptar políticas para recuperar los niveles de empleo. Invertir en políticas de bioeconomía es un reto importante para Colombia, pero también es la forma de elevar sus niveles de empleo.

Se observa en la **figura 47**, que Colombia tiene un nivel bajo en inversión para investigación y desarrollo, se sugiere complementar las políticas públicas en bioeconomía con un incremento en esta inversión para favorecer la prosperidad en Colombia.

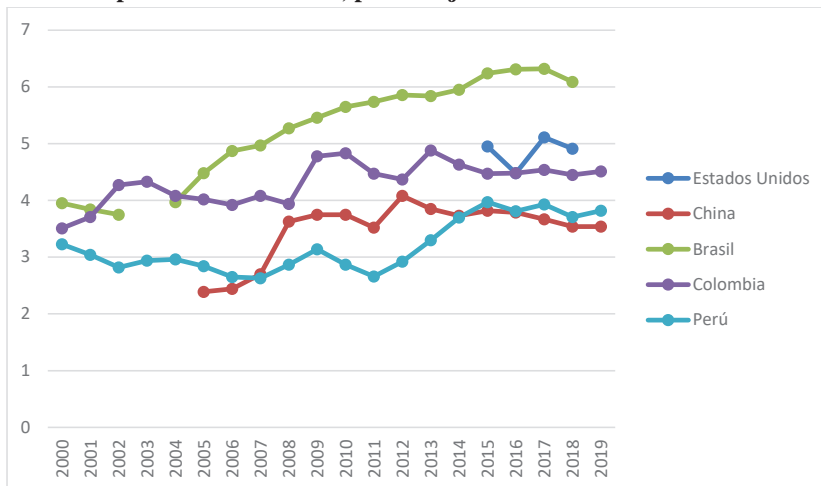
En **la figura 48** también se observa la baja inversión de Colombia en educación como porcentaje del PIB, es importante repensar las políticas públicas relacionadas con un factor de tanta trascendencia nacional.

**Figura 47. Gasto en investigación y desarrollo**



Fuente: elaboración propia a partir de The Global Economy (2021).

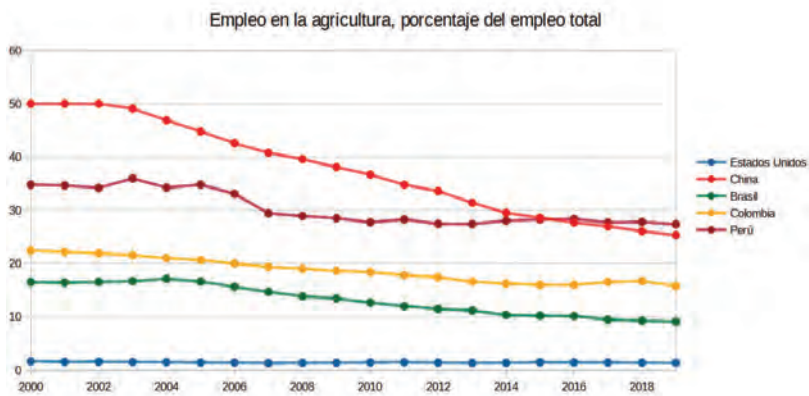
**Figura 48. Gasto público en educación, porcentaje del PIB**



Fuente: elaboración propia a partir de The Global Economy (2021).

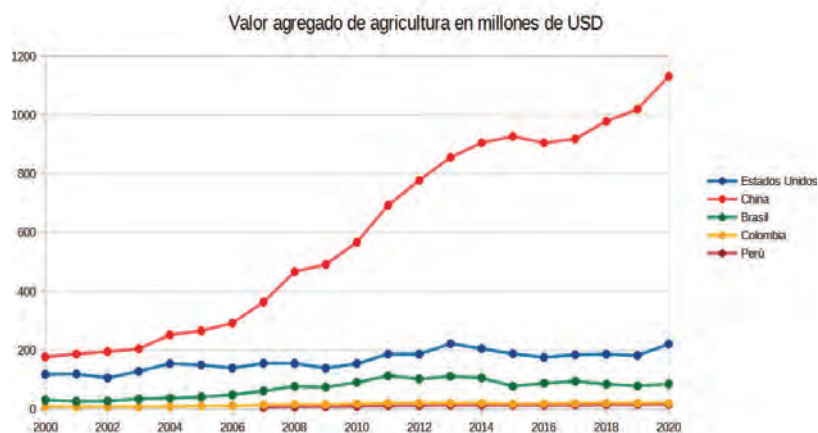
Se evidencia en la **figura 49** que el empleo en la agricultura ha ido decreciendo, es necesario que, al implementar políticas en bioeconomía, se creen mecanismos que favorezcan la inserción del personal calificado en el campo colombiano, esto redundará en beneficios en la distribución de la renta.

**Figura 49. Empleo en la agricultura, porcentaje del empleo total**



Fuente: elaboración propia a partir de The Global Economy (2021).

**Figura 50. Valor agregado de agricultura en millones de USD**



Fuente: elaboración propia a partir de The Global Economy (2021).

¿Qué han hecho países como China, para que su agricultura genere valor a la economía? Vale la pena revisar y proponer en las políticas públicas un cambio de modelo productivo en el que se favorezca el desarrollo del campo y este pueda generar valor al total de la economía.

Se sugiere a partir del presente estudio que se continúe en futuras investigaciones analizando el impacto de diversas políticas públicas relacionadas con bioeconomía para favorecer el desarrollo económico y social del país, asimismo, seguir generando estudios basados en modelos económicos que permitan dimensionar desde el punto de vista macroeconómico las políticas en términos de innovación, capital humano y productividad.

El presente trabajo aporta a la literatura un punto de partida importante en cuanto a los modelos de equilibrio general para analizar el comportamiento de la economía ante diferentes



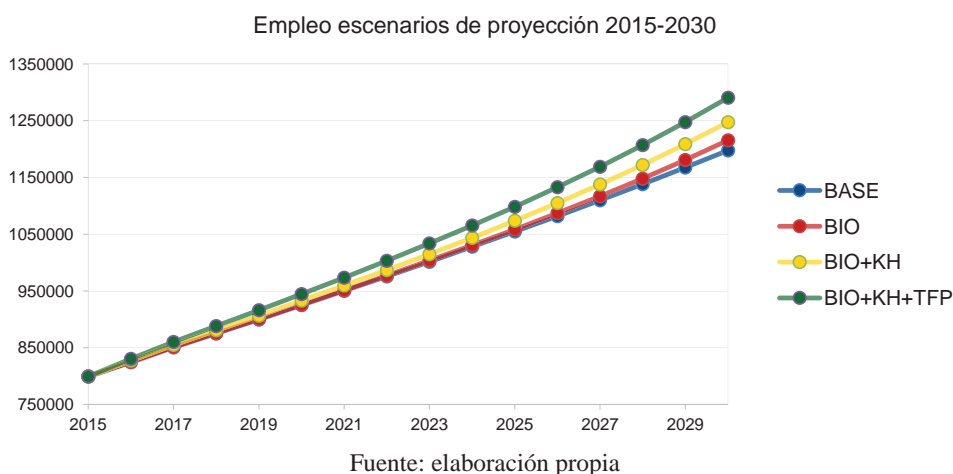
cambios en las políticas públicas. En la literatura actual no se había estudiado el impacto de la bioeconomía por medio de modelos de equilibrio general, este se considera el aporte fundamental.

Se espera que esta investigación signifique un aporte valioso para futuros investigadores que deseen realizar trabajos de investigación sobre el impacto de políticas públicas en bioeconomía.

## 8. CONCLUSIONES Y FUTURAS EXTENSIONES

Las políticas de apoyo a la inversión en bioeconomía tienen un impacto importante sobre el dinamismo de la economía, como lo muestra el modelo de equilibrio general base de este análisis (Botero *et al.*, 2021): facilitan el acceso a nuevos mercados globales en los que la demanda por bienes y servicios de la bioeconomía tiende a desplazar la demanda de otros bienes y servicios poco amigables con el medio ambiente, generando un crecimiento jalonado por las exportaciones. La **figura 51**, que resume las simulaciones realizadas con el modelo, muestra una trayectoria creciente del PIB en el escenario *Bio*, en el que mediante un plan de subsidios focalizados en la inversión en producción de bienes y servicios bioeconómicos, se logra elevar la tasa de crecimiento del PIB del 2,7 % al 2,8 % en un horizonte de proyección de quince años. Para lograrlo, se dedica el subsidio del 2,4 % de los impuestos de renta de las empresas, y con ello, se incentiva que la producción de empresas de la bioeconomía duplique su participación en seis ramas de la actividad económica: la agricultura, la producción industrial de alimentos, químicos, cosméticos, farmacéuticos, y los servicios de salud.

**Figura 51. PIB total en millones de COP, 2015**



El modelo (cuyo cierre macroeconómico está “guiado por el ahorro”), reasigna inversión de sectores no bioeconómicos a la producción de la bioeconomía. La demanda de estos bienes crece a nivel mundial a una tasa superior a la de los demás bienes, permitiendo que la reasignación de inversión se beneficie de la demanda creciente de esos bienes en los mercados mundiales, y elevando las exportaciones totales del país, que pasan, en el año quince de la proyección, de USD 84 mil millones a USD 118 mil millones, como lo muestra la **Tabla 31** que resume las proyecciones en los escenarios alternativos. Este crecimiento adicional impulsa el crecimiento promedio del PIB en 0,1 %.

El mecanismo que opera en el modelo es sencillo, pero ilustra con claridad la importancia de la transformación productiva: cuando el capital instalado en sectores de bajo crecimiento de la demanda mundial se reasigna a sectores de alto crecimiento, se produce un impulso económico importante, que se refleja en un mayor dinamismo económico. Pero más importante aún, ello beneficia el empleo, la participación de los grupos más pobres en el ingreso y su distribución general medida por el Gini: se generan 500 mil empleos adicionales, la participación del 40 % más pobre se incrementa en 0,1 %, y el Gini se reduce de 0,446 a 0,445.

**Tabla 31. Escenarios alternativos. Proyección año 15**

	BASE	BIO	KH	TFP
PIB (Miles de millones de pesos de 2015)	1,197,669	1,215,550	1,247,573	1,290,592
Crecimiento promedio del PIB (15 ños)	2.7 %	2.8 %	3.0 %	3.2 %
Exportaciones (Millones de dólares, 2015)	87,841	118,336	119,569	119,524
Empleo total (Miles de personas)	26,078	26,571	27,450	26,986
Participación del 40% más pobre en ingreso	22.8%	22.9%	27.2%	27.7%
Resultado Fiscal (% del PIB)	-3.1 %	-3.0 %	-4.0 %	-4.2 %
GINI	0.446	0.445	0.363	0.351

Fuente: elaboración propia.

Para profundizar los efectos distributivos, el modelo simula dos escenarios alternativos: uno de calificación de mano de obra (acumulación de capital humano, KH), y otro de impulso a la productividad total de los factores (TFP). Los efectos acumulativos de estos escenarios son también presentados en la **figura 55**, y muestran a las claras tres cosas: i) políticas públicas de formación de capital humano generan profundos cambios distributivos que se reflejan en la mayor participación en el ingreso de los hogares de bajos recursos, y en una significativa reducción de la desigualdad; ii) las políticas de impulso a la productividad, por su parte, mejoran el crecimiento, sin afectar negativamente la distribución del ingreso o la desigualdad; iii) pero, en estos dos últimos casos, el esfuerzo fiscal impone cargas a las finanzas públicas (elevando, en conjunto, el déficit fiscal en 1,2 %), lo que implica que deben proveerse los recursos para ello, a través de reformas a la tributación, cuidadosamente diseñadas.

## Referencias

- Agro-bio. (2021). *Colombia le apuesta a la biotecnología*. <https://agrobio.org/noticias/colombia-le-apuesta-la-biotecnologia#:~:text=En%20Colombia%20existen%20m%C3%A1s%20de,%2C%20CIA T%2C%20BioIntropic%2C%20el%20Centro>
- Agudelo, M. (2003). Efectos de un acuerdo bilateral de libre comercio con Estados Unidos. *Archivos de Economía*, 1-32.
- Aguilar, A., Wohlgemuth, R. and Twardowsky, T. (2018). Perspectives on bioeconomy. *New Biotechnology*, 40, 181-184.
- Akgul, Z., Villoria, N. B. and Hertel, T. W. (2016). GTAP-HET: Introducing Firm Heterogeneity into the GTAP Model. *Journal of Global Economic Analysis*, 1(1), 111-180. <https://doi.org/10.21642/jgea.010102sm1f>.
- Arkolakis, C. (2009). A unified theory of firm selection and growth. *Quarterly Journal of Economics*, 131(1), 89-155. <https://doi.org/10.1093/qje/qjv039>.
- Arujanan, M. and Singaram, M. (2018). The biotechnology and bioeconomy landscape in Malaysia. *New Biotechnology*, 40, 52-59.
- Alvaredo, F., Chancel, L., Piketty, T., Saez, E. y Zucman, G. (2018). *World inequality report*. Belknap Press.
- Alviar, M., García-Suaza, A., Ramírez, L. and Villegas, S. (2021). Measuring the Contribution of the Bioeconomy: The Case of Colombia and Antioquia. *Sustainability*, 13. <https://doi.org/10.3390/su13042353>.
- Balistreri, E. J., Hillberry, R. H. and Rutherford, T. F. (2011). Structural estimation and solution of

- international trade models with heterogeneous firms. *Journal of International Economics*, 83(2), 95-108. <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2011.01.001>.
- Banco Mundial. (2021). *Agricultura: valor agregado (porcentaje del PIB), Colombia*. <https://datos.bancomundial.org/indicador/NV.AGR.TOTL.ZS?locations=CO>
- Bernard, A. B. and Jensen, J. B. (1999). Exceptional exporter performance: Cause, effect, or both? *Journal of International Economics*, 47(1), 1-25. [https://doi.org/10.1016/S0022-1996\(98\)00027-0](https://doi.org/10.1016/S0022-1996(98)00027-0).
- Bernard, A. B., Jensen, J. B., Lawrence, R. Z. and Bernard, A. B. (1995). Exporters, Jobs, and Wages in U . S . Manufacturing : 1976-1987. *Brookings Institution Press*, 1995(May), 67-119.
- Bernard, A. B., Jensen, J. B., Redding, S. J., Peter, K., Bernard, A. B., Jensen, J. B., Redding, S. J. and Schott, P. K. (2007). Firms in International Trade. *The Journal of Economic Perspectives*, 21(3), 105-130. <https://doi.org/10.1007/s00603-010-0086-5>.
- Bernard, A., Eaton, J., Jensen, B. and Kortum, S. (2003). Plants and Productivity in International trade. *American Economic Association*, 93(4), 1268-1290.
- Biointropic, Universidad Eafit, DNP y Silo. (2018). *Estudio sobre la bioeconomía como fuente de nuevas industria basadas en el capital natural de Colombia No.1240667. Fase I*. <https://www.unilibre.edu.co/pereira/images/biotecnologia/pdf/10-informebiointropic.pdf>.
- Botero, J. y García, D. (2018). Desarrollo, reestructuración del gasto público y las alianzas público-privadas. *Revista de Economía Institucional*, 20(38). [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3157270](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3157270).
- Botero, J. (2005). Estimación del impacto sobre el empleo de los tratados de libre comercio en Colombia; análisis de equilibrio general computable. In *Serie Estudios y perspectivas. Oficina de la CEPAL en Bogotá* (1 ed., Issue 8). CEPAL.
- Botero, J. y López, H. (2004). Impacto del TLC Sobre el Empleo. *Corporación para el Desarrollo*

- Bracco, S., Calicioglu, O., Gómez, M. and Flammini, A. (2018). Assessing the Contribution of Bioeconomy to the Total Economy: A Review of National Frameworks. *Sustainability*, 10, 1698. Doi:10.3390/su10061698.
- Bugge, M., Teis, H and Klitkou, A. (2016). *What Is the Bioeconomy? A Review of the Literature*. Doi:10.3390/su8070691.
- Cardenete, M. (2009). Los modelos de equilibrio general aplicado: una revisión de los principales campos de aplicación a nivel internacional. *Revista de Economía Mundial*, (23), 68-86.
- Canales, N. y Gómez, J. (2020). *Diálogo de política sobre bioeconomía para el desarrollo sostenible en Colombia*. SEI. <https://www.sei.org/publications/dialogo-de-politica-sobre-una-bioeconomia-para-el-desarrollo-sostenible-en-colombia/>
- Colciencias. (2013). *Plan estratégico de biotecnología*. Colciencias.
- Comisión Europea. (2018). *Una nueva estrategia en materia de bioeconomía para una Europa sostenible*. <https://www.panoramical.eu/union-europea/una-nueva-estrategia-en-bioeconomia-para-una-europa-sostenible/>.
- Comisión Europea. (2020). *Jobs and Wealth in the European Union Bioeconomy (Biomass producing and converting sectors)*. <https://datam.jrc.ec.europa.eu/datam/mashup/BIOECONOMICS/index.html>.
- Consejo Privado de Productividad y Universidad de Los Andes. (2016). *Productividad: la clave del crecimiento para Colombia*. [https://compite.com.co/wp-content/uploads/2016/07/CPC\\_Productividad-WEB.pdf](https://compite.com.co/wp-content/uploads/2016/07/CPC_Productividad-WEB.pdf)
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2018). *Documento Conpes 3934. Política verde*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/conpes-3934-de-2018.pdf>.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2020). *Documento Conpes de Política Nacional*

de CTi 2021-2030. Borrador.  
[https://minciencias.gov.co/sites/default/files/documento\\_conpes\\_ciencia\\_tecnologia\\_e\\_innovacion.pdf](https://minciencias.gov.co/sites/default/files/documento_conpes_ciencia_tecnologia_e_innovacion.pdf)

Consejo Nacional de Política Económica y social. (2011). *Documento Conpes 3697 de junio 14. Política para el desarrollo comercial de la biotecnología a partir del uso sostenible de la biodiversidad.*

[https://minciencias.gov.co/sites/default/files/conpes\\_3697\\_de\\_2011\\_politia\\_desarrollo\\_comercial\\_de\\_la\\_biotecnologia\\_a\\_partir\\_uso\\_biodiversidad.pdf](https://minciencias.gov.co/sites/default/files/conpes_3697_de_2011_politia_desarrollo_comercial_de_la_biotecnologia_a_partir_uso_biodiversidad.pdf)

Corrado, S. and Sala, S. (2018). *Bio-economy Contribution to Circular Economy.*

[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-66981-6\\_6?utm\\_source=getftr&utm\\_medium=getftr&utm\\_campaign=getftr\\_pilot](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-66981-6_6?utm_source=getftr&utm_medium=getftr&utm_campaign=getftr_pilot)

Cumbre Global de Bioeconomía. (2018). *Innovación en la bioeconomía global para la transformación sostenible e inclusiva y el bienestar.*

[https://gbs2018.com/fileadmin/gbs2018/Downloads/CommuniqueGBS2018\\_final\\_Spanish.pdf](https://gbs2018.com/fileadmin/gbs2018/Downloads/CommuniqueGBS2018_final_Spanish.pdf).

D'Adamo, I., Falcone, P. and Morone, P. (2020). A New Socio-economic Indicator to Measure the Performance of Bioeconomy Sectors in Europe. *Ecological Economics*, 176.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106724>.

De Besi, M. and McCormick, K. (2015). Towards a Bioeconomy in Europe: National, Regional and Industrial Strategies. *Sustainability*, 7, 10461-10478; doi:10.3390/su70810461.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2015). *Cuentas nacionales anuales. Base 2015.*

<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-nacionales-anuales>

Departamento Nacional de Planeación. DNP. (2018). *Estudio sobre bioeconomía como fuente de nuevas industrias basadas en el capital natural de Colombia.*

<https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Bioeconomia/informe%201/ANX2.%20Alcance%20concepto%20bioeconomia%20para%20Colombia.pdf>

- Devarajan, S. and Robinson, S. (2005). The influence of computable general equilibrium models on policy. *Frontiers in Applied General Equilibrium Modeling: In Honor of Herbert Scarf*, 9780521825(98), 429-436. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511614330.016>.
- Dixon, P., Jerie, M. and Rimmer, M. (2016). Modern Trade Theory for CGE Modelling: The Armington, Krugman and Melitz Models. *Journal of Global Economic Analysis*, 1(1), 1-110. <https://doi.org/10.21642/jgea.010101sm1f>.
- Duquenne, M., Prost, H., Schöpfel, J. and Dumeignil, F. (2020). Open Bioeconomy. A Bibliometric Study on the Accessibility of Articles in the Field of Bioeconomy. *Publications*,8(55). doi:10.3390.
- Fernández, A., Parejo, J. y Rodríguez, L. (2006). *Política económica*. McGraw Hill.
- Fernández-de-Córdoba, G., Pérez, J. J., Y Torres, J. L. (2012). Public and private sector wages interactions in a general equilibrium model. *Public Choice*, 150(1–2), 309–326. <https://doi.org/10.1007/s11127-010-9705-7>.
- Ferreira, V., Pié, L. and Terceño, A. (2021). Economic impact of the bioeconomy in Spain: Multiplier effects with a bio social accounting matrix. *Journal of Cleaner Production*, 298. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126752>
- Gaviria, M. (2007). El crecimiento endógeno a partir de las ternalidades del capital humano. *Cuadernos de Economía*, 26(46). [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-47722007000100003](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-47722007000100003)
- German Bioeconomy Council. (2015). *Bioeconomy Police II. Synopsis of National Strategies around the World*. <https://bioekonomie.de/sites/default/files/files/2016-12/irland.pdf>.

- Gracia, O. y Zuleta, H. (2015). Tratado de libre comercio entre Colombia y Estados Unidos: ¿qué impacto puede tener en Colombia? *Instname:Universidad Del Rosario*, 29.
- Greenaway, D. and Kneller, R. (2007). Firm Heterogeneity , Exporting and Foreign Direct Investment. *Oxford University Press on Behalf of the Royal Economic Society*, 117(517).
- Hamann, F., Rodríguez, F. A., Rojas, J. A. B., González, M. M. G., Vizcaíno, J. C. M. and Olarte, A. (2019). Productividad total de los factores y eficiencia en el uso de los recursos productivos en Colombia. *Ensayos sobre Política Económica*, 2019(89), 1-54. <https://doi.org/10.32468/espe.89>.
- Hofman, A., Mas, M., Aravena, C. y Fernández de Guevara, J. (2017). Crecimiento económico y productividad en Latinoamérica. El proyecto LA-KLEMS *El Trimestre Económico*, 84(2), 259-306.
- Hurtado Rendón, A., González, H. y Botero García, J. (2011). Los modelos DSGE: una respuesta de la discusión macroeconómica. *Estudios Económicos*, 28(57), 59-77.
- Imbert, E., Ladu, L., Morone, P. and Quitzow, R. (2017). Comparing policy strategies for a transition to a bioeconomy in Europe: The case of Italy and Germany. *Energy Research & Social Science*, 33, 70-81.
- Johnson, T. G. and Altman, I. (2014). *Rural development opportunities in the bioeconomy*. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.01.028>
- Kircher, M. (2021). Bioeconomy: present status and future needs of industrial value chains. *New Biotechnology*, 60, 96-104.
- Krugman, P. (1979). Increasing returns, monopolistic competition, and international trade. *Journal of International Economics*, 9, 469-479.
- Krugman, P. (1980). Product Differentiation and the Pattern of Trade. *American Economic Association*, 70(5), 950-959.

- Lainez, M., González, J., Aguilar, A. and Vela, C. (2018). Spanish strategy on bioeconomy: towards a knowledge based sustainable innovation. *New Biotechnology*, 40, 87-95.
- Lawless, M. (2009). Firm export dynamics and the geography of trade. *Journal of International Economics*, 77(2), 245-254. <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2009.01.006>.
- Leonidou, L. and Katsikeas, C. (1996). The Export Development Process : An Integrative Review of Empirical Models. *Palgrave Macmillan Journals on Behalf of Academy of International Business*, 27(3), 517–551.
- Light, M. (2004). FTAA and Service Liberalization in Colombia. *Revista Desarrollo y Sociedad*, 7760(53), 165-192. <https://doi.org/10.13043/dys.53.5>
- Light, M. and Rutherford, T. (2003). Free Trade Area of the Americas An Impact Assessment for Colombia. *Archivos de Economía*, 1, 44.
- Lokko, Y., Heijde, M., Schebesta, K., Scholtes, P., van Montagu, M. and Giacca, M. (2018). Biotechnology and the bioeconomy Towards inclusive and sustainable industrial development. *New Biotechnology*, 40, 5-10.
- Mainar, A. (2018). *BioSAM's for the EU Member States Constructing Social Accounting Matrices with a detailed disaggregation of the bioeconomy*. doi:10.2760/811691
- Martín, C. P. y Ramírez, J. M. (2005). El impacto económico de un acuerdo parcial de libre comercio entre Colombia y Estados Unidos. *Banco de La República de Colombia*, 1-41.
- Mejía, L. et al. (2021). *Editorial: actualización de las perspectivas económicas 2020-2021*. <http://dams.fedesarrollo.org.co/tendenciaeconomica/publicaciones/208/>
- Melgarejo, L., Sánchez, J., Reyes, C., Newmark, F. y Santos, M.(2002). *Plan nacional de bioprospección continental y marina*. Cargraphics.
- Melitz, M. (2003). The impact of trade on intra-industry reallocations and aggregate industry productivity. *Econometrica*, 71(6), 1695-1725. <https://doi.org/10.1111/1468-0262.00467>.

- Melitz, M. and Redding, S. (2014). Heterogeneous Firms and Trade. In *Handbook of International Economics* (4 ed. Vol. 4). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-54314-1.00001-X>.
- Mesa, L., Ramírez, A., Benavides, C., Barahona Vinasco, J. F., Grisales, J., Ramírez, C., Gómez, E. y Gómez Cardona, J. H. (2017). *Estudio del sector biotecnológico en la industria colombiana* (Vol. 1). Centro de Bioinformática y Biología Computacional de Colombia.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación *et al.* (2020). *Bioeconomía para una Colombia potencia viva y diversa: hacia una sociedad impulsada por el conocimiento*. [https://www.minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/bioeconomia\\_para\\_un\\_crecimiento\\_sostenible-qm\\_print.pdf](https://www.minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/bioeconomia_para_un_crecimiento_sostenible-qm_print.pdf).
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2020). *Colombia Bio. Portafolio*. <https://mundobiotec.com/portafolio-bio-minciencias/>.
- Muizniece, I.; Zihare, L.; Blumberga, D. (2019) Obtaining the Factors Affecting Bioeconomy. *Environmental and Climate Technologies*, 23, 277–291.
- OCDE. (2018). *The Bioeconomy to 2030: designing a policy agenda*. <https://www.oecd.org/futures/long-termtechnologicalsocietalchallenges/thebioeconomyto2030designingapolicyagenda.htm>.
- Observatorio de la Región. (2021). *Principales resultados del mercado laboral a julio de 2021*. <https://www.ccb.org.co/observatorio/Analisis-Economico/Analisis-Economico/Crecimiento-economico/Noticias/Principales-resultados-del-mercado-laboral-a-julio-de-2021>.
- Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología. (2021). *Indicadores del sector ciencia y tecnología*. Minciencias.
- Oyamada, K. (2015). Behavioral characteristics of applied general equilibrium models with an Armington-Krugman-Melitz encompassing module. *Institute of Developing Economies*, 468.

- Pardo, O. E., Perdomo, A. A., Delgado, C. y Lozano, C. (2005). Colombia y el TLC: efectos sobre la Distribución del Ingreso y la Pobreza. *Archivos de Economía*, 289, 1-52.
- Perfetti, J. y Botero, J. (2017). *Política comercial agrícola: nivel, costos y efectos de la protección en Colombia*. Fedesarrollo y Universidad EAFIT.
- Portafolio. (2021). *La economía agropecuaria: protagonista del PIB 2021*. <https://www.portafolio.co/economia/finanzas/la-economia-agropecuaria-protagonista-en-el-pib-2021-553168>
- Redacción El Tiempo. (2021). *Colombia: territorio con mayor potencial bioeconómico*. <https://www.eltiempo.com/mas-contenido/colombia-territorio-con-mayor-potencial-bioeconomico-606644>
- Refsgaard, K., Kull, M., Slätmo, E. and Meijer, M. (2021). Bioeconomy. A driver for regional development in the Nordic countries. *New Biotechnology*, 60, 130-137.
- Reina, M., Gamboa, C., Zuluaga, S., Becerra, O., Gracia, C. y Borrero, M. (2007). *Impacto económico del TLC con Estados Unidos en la región Bogotá-Cundinamarca*. <https://bibliotecadigital.ccb.org.co/handle/11520/1906>
- Roberts, B. M. and Tybout, J. R. (1997). The Decision to Export in Colombia : An Empirical Model of Entry with Sunk Costs. *The American Economic Review*, 87(4), 545-564.
- Solow, R. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. *The Review of Economics and Statistics*, 39(3), 312-320. <http://www.jstor.org/stable/1>.
- Ronzon, T. and M'Barek, R. (2018). Socioeconomic Indicators to Monitor the EU's Bioeconomy in Transition. *Sustainability*, 10, 1745. doi:10.3390/su10061745
- Sánchez, F. y Hernández, G. (2004). Colombia: aumento de las exportaciones y sus efectos sobre el crecimiento, empleo y pobreza. *Revista Desarrollo y Sociedad*, 7760(53), 193-226. <https://doi.org/10.13043/dys.53.6>.

- Sanz-Hernández, A., Esteban, E. and Garrido, P. (2019). Transition to a bioeconomy: Perspectives from social sciences. *Journal of Cleaner Production*, 224, 107-119.
- Sarkar, S., Poon, J., Lepage, E., Bilecki, L. and Girard, B. (2018). Enabling a sustainable and prosperous future through science and innovation in the bioeconomy at Agriculture and Agri-Food Canada. *New Biotechnology*, 40, 70-75.
- Sasson, A. and Malpica, C. (2018). Bioeconomy in LatinAmerica. *New Biotechnology*, 40, 40-45.
- The Global Economy. (2021). *Comparación entre países con fuentes oficiales*. <https://es.theglobaleconomy.com/compare-countries/>
- The White House. (2012). *National Bioeconomy Blueprint*. [https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/national\\_bioeconomy\\_blueprint\\_april\\_2012.pdf](https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/national_bioeconomy_blueprint_april_2012.pdf)
- Torres, J. (2009). *Introducción al equilibrio general dinámico macroeconómico*. <https://www2.uned.es/personal/rosuna/IEGDE.pdf>.
- Vaughan, D. (2005). Tratado de libre comercio y barreras no arancelarias : un análisis crítico. *Archivos de Economía*, 281, 1-50.
- Vivien, F., Nieddu, M., Befort, N., Debref, R. and Giampietro, M. (2019). The Hijacking of the Bioeconomy. *Ecological Economics*, 159, 189-197.
- Woźniak, E. and Twardowski, T. (2018). The Bioeconomy in Poland within the context of the European Union. *New Biotechnology*, 40, 96-102.
- Wreford, A., Bayne, K., Edwards, P. and Renwick, A. (2018). Enabling a transformation to a bioeconomy in New Zealand. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2018.11.005>.
- Zhai, F. (2008). Armington Meets Melitz: Introducing Firm Heterogeneity in a Global CGE Model of Trade. *Journal of Economic Integration*, 23(3), 575-604. <https://doi.org/10.11130/jei.2008.23.3.575>.

## Anexo. Definición de parámetros

$\sigma_{ti}$  : elasticidad de sustitución de las funciones de agregación de trabajo calificado y no calificado

$\delta_{ti}$  : parámetro de participación de las funciones de agregación de trabajo calificado y no calificado

$\beta_{ti}$  : parámetro de escala de las funciones de agregación de trabajo calificado y no calificado

$\sigma_{va_{ii}}$  : elasticidad de sustitución de las funciones de agregación de trabajo y capital

$\delta_{va_{ii}}$  : parámetro de participación de las funciones de agregación de trabajo y capital

$\beta_{va_{ii}}$  : parámetro de escala de las funciones de agregación de trabajo y capital

$\alpha_{1_{ii}}$  : ALFA1(II)

$\alpha_{2_{ii}}$  : ALFA2(II)

$tir_{ii}$  : TIR(II) tasa de impuesto a la rama

$\sigma_{iie}$  : SIGMAE(II) elasticidad de sustitución de la función CET que agrega producción doméstica y exportaciones

$\delta_{e_{ii}}$  : DELTAE(II) parámetro de la participación de la función CET

$\beta_{e_{ii}}$  : BE(II) parámetro de escala de la función CET

$\sigma_i$  : SIGMA(I) elasticidad de sustitución del bien compuesto (Armington)

$\delta_i$  : DELTA(I) parámetro de participación de la función de bien compuesto

$\beta_i$  : B(I) parámetro de escala de la función de bien compuesto

$aran_i$  : ARAN(I) tasa arancelaria

$iva_i$  : IVA(I) tasa de IVA

$tip_i$  : TIP(I) tasa de impuestos al producto

$\sigma_{d_{ii}}$  : SIGMAD(II) elasticidad de sustitución de la función Armington del resto del mundo

$\delta_{d_{ii}}$  : DELTAD(II) parámetro de participación de la función Armington del resto del mundo

$\beta_{d_{ii}}$  : BD(II) parámetro de escala de la función Armington del resto del mundo

$mp_{ii,i}$  : MP(II,I) coeficientes de la matriz de producción

$io_{i,ii}$  : IO(I,II) coeficiente de insumo producto

$share_i$  : SHARE(I) participación del consumo del bien i en el consumo total

$engel_i$  : ENGEL(I) elasticidad ingreso del bien I

$sharehog_{ihog,i}$ : SHAREHOG(IHOG,I) participación del bien I en el consumo del hogar IHOG

$eme_{ihog,i}$ :EME(IHOG,I) participación del consumo del bien I en el gasto discrecional del hogar IHOG

$cmin_{ihog,i}$ :CMIN(IHOG,I) consumo mínimo del bien I en el hogar IHOG

$wdist_{ii}$ :WDIST(II) proporción del salario no calificado de la rama respecto al salario promedio no calificado de la economía

$wcist_{ii}$ :WCDIST(II) proporción del salario calificado de la rama respecto al salario promedio calificado de la economía

$sharegb_i$  : SHAREGB(I) participación del bien I en el gasto publico burocrático

$sharegs_i$ :SHAREGS(I) participación del bien I en el gasto social del gobierno

$sharei_i$ :SHAREI(I) participación del bien I en la inversión privada

$shareip_i$ :SHAREIP(I) participación del bien I en la inversión pública

$tinvi$ :TINV(I) tasa de formación de inventarios sobre las ventas totales

$fisch$  : FRISCH parámetro de Frisch

$sharek_{ih}$ :SHAREK(IH) participación de las instituciones en la renta del capital con solo componente privado

$sharekp_{ih}$ ::SHAREKP(IH) participación de las instituciones en la renta del capital de los sectores en los que hay participación pública

$aportss_{ih}$ :APORTSS(IH) tasa de aportes a la seguridad social

$pss_{ih}$ ::PSS(IH) participación de las instituciones que reciben aportes a la seguridad social en los aportes totales

$prest_{ih}$  : prest(ih) relación entre prestaciones y aportes a la seguridad social recibidos por la institución

$sharer_{ih}$  : SHARER(IH) participación de la institución en las rentas de propiedad recibidas

$porcr_{ih}$ :PORCR(IH) porcentaje del ingreso de la institución que se paga como renta de propiedad

$share_{ih}$ :SHARET(IH) participación de la institución en las transferencias totales recibidas en la economía

$porct_{ih}$  : PORCT(IH) porcentaje de la renta que transfiere a otras instituciones

$impd_{ih}$  : IMPD(IH) tasa de impuestos directos de la institución

$shareiva_{ih}$  : SHAREIVA(IH) tasa de repartición del IVA entre los diversos niveles del gobierno

$sharetir_{ih}$ :SHARETIR(IH) tasa de repartición de los impuestos a la rama entre los diversos niveles del gobierno

$sharetip_{ih}$ :SHARETIP(IH) tasa de repartición de los impuestos al producto entre los diversos niveles del gobierno

$shareid_{ih}$ :SHAREID(IH) tasa de repartición de los impuestos directos entre los diversos niveles del gobierno

$transk_{ih}$ :TRANSK(IH) remesas netas del exterior denominadas en moneda extranjera

$stsave_{ih}$  : TSAVE(IH) tasa de ahorro de la institución

$fk$ :FK flujos de capital del exterior incluyendo IED y otros flujos

$fkide$ :FKIDE inversión en el exterior

$fkided$ :FKIED inversión extranjera directa

$fkcred$ :FKCRED endeudamiento externo neto

$fkic$ :FKIC inversión en cartera

$fkotros$ :FKOTROS otros flujos de capital

$fkreser$ :FKRESER variación en reservas

$fkajuste$ :FKAJUSTE ajuste entre préstamo neto y cuenta de capital de la balanza de pagos

$gtb_{ih}$ :GBT(IH) participación de cada nivel del gobierno en el gasto burocrático

$gts_{ih}$  : GST(IH) participación de cada nivel del gobierno en el gasto social

$wtnctx$ :WTNCX salario fijo exógeno del trabajo no calificado

$peacx_{ihog}$ :PEACX(IHOG) nivel inicial de la PEA calificada por tipo de hogar

$peanx_{ihog}$ :PEANX(IHOG) nivel inicial de la PEA no calificada por tipo de hogar

$peanf_{ihog}$ :PEANFX(IHOG) nivel inicial de la PEA no calificada formal por tipo de hogar

$peanix_{ihog}$ :PEANIX(IHOG) nivel inicial de la PEA no calificada informal por tipo de hogar

$pobl_{ihog}$ : POBL(IHOG) población  
 $hogares_{ihog}$ : HOGARES(IHOG) número de hogares  
 $desempcx_{ihog}$ : DESEMPCX(IHOG) tasa de desempleo calificado exógena  
 $desemfnx_{ihog}$ : DESEMFNX(IHOG) tasa de desempleo exógena no calificada para los hogares que ajusten el mercado<sup>4</sup>  
 $mo_{ihog}$ : M0(IHOG) tasa exógena de ahorro de los hogares  
 $\sigma_{ihog}$ : SIGMAS(IHOG) elasticidad de sustitución entre formalidad e informalidad en la oferta laboral  
 $\delta_{ihog}$ : DELTAS(IHOG) parámetro de participación en la agregación de formalidad e informalidad  
 $\beta_{s_{ihog}}$ : BS(IHOG) parámetro de escala en la agregación de formalidad e informalidad  
 $petc_{ihog}$ : PETC(IHOG) PET calificada  
 $petn_{ihog}$ : PETN(IHOG) PET no calificada  
 $\gamma1_{ihog}$ : GAMA1(IHOG) preferencia por el ocio calificado en la función de utilidad de los hogares  
 $\gamma2_{ihog}$ : GAMA2(IHOG) preferencia por el ocio no calificado  
 $pipc_i$ : PIPC(I)  
 $k_{ii}$ : K(II) stock de capital de la rama II  
 $pwm_i$ : PWM(I) precio de las importaciones en moneda extranjera  
 $pw_{ii}$ : PW(II) precio de los bienes que compiten con las exportaciones en moneda extranjera  
 $exx_{ii}$ : EXX(II) ventas del resto del mundo a nuestros socios comerciales  
 $ek_{ii}$ : EK(II) exportaciones exógenas  
 $\alpha_{ii}$ : ALFA(II)  
 $z_{ii}$ : Z(II) productividad  
 $propmd_{ii}$ : PROPMD(II) proporción de importaciones en los sectores que no se modelan mediante función Armington

---

4 Revisar si es mejor mantener una tasa de desempleo exógena por tipo de hogar, o competir entre ellos por los empleos con una tasa general exógena.

*shareinf<sub>ii</sub>*:SHAREINF(II) participación de cada sector en la informalidad  
*markup<sub>ii</sub>*:MARKUP(II) margen de los sectores en competencia monopolística  
*fbkfpt*:FBKFPT inversión en infraestructura  
*sfbkfpt* : SFBKFPT participación del gobierno central en la inversión en infraestructura  
*stockp* : STOCKP *stock* de capital público o infraestructura  
*sz*:SIGMAZ parámetro de efectos de externalidad del capital público  
*zzk*:ZZK *stock* inicial de capital público  
*ipcx*:IPCX IPC exógeno  
*ctk*:CTK parámetro de cambio técnico intensivo en capital  
*ctc*:CTC parámetro de cambio técnico en trabajo intensivo en calificado  
*ero*:ER0 tasa de cambio inicial  
*milegal*:MILEGAL porcentaje de importaciones ilegales  
*fbkftx*: FBKFTX nuevo parámetro  
*dispnf*:DISPNF deuda interna pública  
*despnf* : DESPNF deuda externa pública  
*rdeudai* : RDEUDAI tasa de interés de la deuda interna pública  
*rdeudae* : RDEUDAE tasa de interés de la deuda externa pública  
*r0<sub>ii</sub>* : R0(II) remuneración al capital de los sectores cuya remuneración es exógena  
*tdec* : TDEC tasa de cambio nominal año base  
*sgp* : SGP proporción de las rentas fiscales que se distribuyen a las regiones  
*pension* : PENSION transferencias pensionales  
*sharepens<sub>ih</sub>* : SHAREPENS(IH) participación en las transferencias pensionales  
*kimp* : KIMP constante en la senda de expansión de las importaciones  
*kexp* : KEXP constante en la senda de expansión de la demanda de exportaciones  
*proby<sub>ihog</sub>*:PROBY(IHOG) probabilidad de que el ingreso de los hogares se mantenga  
*tib* : TIB tasa de interés  
 $\beta$  : BETA factor subjetivo de descuento  
*expg* : EXPG expectativa de crecimiento  
*rmkant* : RMKANT remuneración marginal del capital anterior

*rmkant1* : RMKANT1 remuneración marginal del capital anterior tasa de interés real  
*irr* : IIR tasa de interés para el inversionista  
*γiGAMAI* parámetro de ajuste de costos para la inversión  
*γi1* GAMAI parámetro de ajuste de costos para la inversión tasa de interés real  
*depr* : DEPR depreciación  
*depr<sub>ii</sub>* : DEPRS(II) tasa de depreciación  
*spread* :SPREAD tasa activa y pasiva de interés  
*factor* : FACTOR factor que convierte un shock temporal de tasa de interés en un cambio permanente de la misma para RHO = 0,9  
*ipcant*:IPCANT IPC anterior  
*proby1<sub>ihog</sub>* : PROBY1(IHOG) probabilidad alternativa (con tasa de interés real) de que el ingreso de los hogares se mantenga  
*pyant<sub>ii</sub>*:PYANT(II) precio anterior de la rama para el modelo de precios rígidos  
*kceh*:KCEH proporción del consumo de los hogares que se realiza en el exterior  
*knr* : KNR proporción del consumo que es realizado por hogares no residentes  
*iod<sub>i,ii</sub>*:IOD(I,II)  
*idesk<sub>ii</sub>*:IDESK(II)  
*fae* : FAE factor de ajuste de exportaciones para construir balanza de pagos  
*fai*:FAI factor de ajuste de importaciones para construir balanza de pagos  
*far*:FAR factor de ajuste de rentas factoriales para construir balanza de pagos  
*fat*:FAT factor de ajuste de transferencias para construir balanza de pagos  
*disc<sub>ihog</sub>*::DISC(IHOG) proporción del salario calificado del hogar respecto al salario medio calificado  
*disnc<sub>ihog</sub>*:DISNC(IHOG) proporción del salario no calificado del hogar respecto al salario medio no calificado  
*disnci<sub>ihog</sub>*:DISNCI(IHOG) proporción del ingreso informal del hogar respecto al ingreso medio informal

$shareint_{ihog}$ : SHAREINT(IHOG) participación del tipo de hogar en los intereses de la deuda pública

$transhog_{ihog}$ : TRANSHOG(IHOG) transferencia ajustes entre hogares SHARETC(IHOG)

$a_{ii}$ : A(II) parámetro de la función de asignación de la inversión por destino

$rant_{ii}$ : RANT(II) rentabilidad del capital de referencia para el sector II

$\sigma_i$ : SIGMAI elasticidad de la función de asignación de la inversión por destino

$bio_{ii}$  : BIO(II) participación de la bioeconomía en la rama II

$kpean_{ihog}$  : KPEAN(IHOG)

$rpeac$  : RPEAC

$rpeanc$  : RPEANC

$rncfi$  : RNCFI

$relwtc_{ihog}$  : RELWTC(IHOG)

$shareun_{ihog}$  : SHAREUN(IHOG) participación de los hogares en el desempleo formal

$sharewtc_{ihog}$  : SHAREWTC(IHOG) participación en el ingreso salarial total

$TC(II)$ : TRABAJO CALIFICADO

$TNC(II)$ : TRABAJONOCALIFICADO(FORMAL)

$TT(II)$ : TRABAJOTOTALFORMAL

$WC(II)$ : SALARIOCALIFICADO

$WNC(II)$ : SALARIONOCALIFICADO

$W(II)$ : SALARIOPONDERADOCALIFICADOYNOCALIFICADO

$R(II)$ : REMUNERACIONALCAPITAL

$VA(II)$ : VALORAGREGADO

$PVA(II)$ : PRECIODELVALORAGREGADO

$Y(II)$ : PRODUCTODELARAMA

$PY(II)$ : PRECIODELPRODUCTODELARAMA

$YIMP(II)$ : PRODUCTODELARAMAINCLUYENDOIMPUESTOALARAMA

$PYIMP(II)$ : PRECIODELARAMAINCLUYENDOIMPUESTOS

$E(II)$ : EXPORTACIONES

$PE(II)$ : PRECIODELASEXPORACIONESEENMONEDADOMÉSTICA

*YD(II): PRODUCCIÓN DOMÉSTICA DELARAMA*  
*PYD(II): PRECIO DE LA PRODUCCIÓN DOMÉSTICA DELARAMA*  
*PXC(I): PRECIO DEL PRODUCTO AGREGADO*  
*D(I): PRODUCTO DOMÉSTICO*  
*PD(I): PRECIO PRODUCTO DOMÉSTICO*  
*M(I): IMPORTACIONES*  
*PM(I): PRECIO DE LAS IMPORTACIONES EN MODENA DOMÉSTICA*  
*CH(IHOG, I): CONSUMO DEL BIEN I POR PARTE DEL HOGAR I HOG*  
*C(I): CONSUMO TOTAL DEL BIEN I*  
*GB(I): GASTO PÚBLICO BUROCRÁTICO*  
*GS(I): GASTO SOCIAL DEL GOBIERNO EN EL BIEN I*  
*V(I): DEMANDA INTERMEDIA DEL BIEN I*  
*FBKF(I): INVERSIÓN EN EL BIEN I*  
*FBKFP(I): INVERSIÓN PÚBLICA EN EL BIEN I*  
*EX(II): EXPORTACIONES DELARAMA II*  
*PWE(II): PRECIO DE LAS EXPORTACIONES DELARAMA II*  
*RCM(II): REMUNERACIÓN AL CAPITAL MODELO DE COMPETENCIA MONOPOLÍSTICA*  
*GAN(II): GANANCIA EN EL MODELO DE COMPETENCIA MONOPOLÍSTICA*  
*LAMDA(II): COSTO UNITARIO EN EL MODELO DE COMPETENCIA MONOPOLÍSTICA*  
*RPU(II): GANANCIA POR UNIDAD DE CAPITAL*  
*YFAC(IH): INGRESO FACTORIAL DE LA INSTITUCIÓN I H*  
*YDISP(IH): INGRESO DISPONIBLE DE LA INSTITUCIÓN I H*  
*RENTA*  
*TRANSF*  
*SAVE(IH)*  
*ER*  
*WTNC*  
*WTC*  
*FBKFT*  
*DESEMP*

*DESEMPC(IHOG)*

*PEAC(IHOG)*

*PEAN(IHOG)*

*PEANF(IHOG)*

*PEANI(IHOG)*

*EWC(IHOG)*

*EWNC(IHOG)*

*WTI(IHOG)*

*WTIT*

*WTNCF(IHOG)*

*WTCH(IHOG)*

*TNCFH(IHOG)*

*TNCIH(IHOG)*

*TCH(IHOG)*

*DESEMFN(IHOG)*

*IPC*

*ZZ*

*IU: ÍNDICE DE USO DE LA CAPACIDAD EN LA FRONTERA DE POSIBILIDADES DE PRODUCCIÓN*

*RFISCAL: RESULTADO FISCAL*

*SK(II): DEMANDA SECTORIAL DE CAPITAL*

*NRK: NIVEL DE RENTABILIDAD DEL CAPITAL*

*MSAVE(IHOG): TASA DE AHORRO DE LOS HOGARES*

*YTRIB: INGRESOS TRIBUTARIOS DEL GOBIERNO CENTRAL*

*RMK: REMUNERACIÓN MARGINAL DEL CAPITAL*

*KTOTAL: STOCK TOTAL DE CAPITAL EN LA ECONOMÍA*

*RTOTAL: REMUNERACIÓN PROMEDIO DEL CAPITAL EN LA ECONOMÍA*

*Q: RELACIÓN INVERSIÓN CAPITAL*

*IUK: ÍNDICE DE USO DEL CAPITAL EN LA ECONOMÍA*

*INV(I): INVENTARIOS DEL BIEN I*

*IDES(II)*

QI

OMEGA: VARIABLE OBJETIVO

**E1(II): agregación de trabajo calificado y no calificado por ramas. agregación lineal**

E1(II)..  $TT(II)=E=TNC(II)+TC(II);$

$$tt_{ii} = E = tnc_{ii} + tc_{ii}$$

**E1A(II) Función CES de agregación de trabajos**

E1A(II)..  $TT(II)=E=BT(II)*(DELTAT(II)*TNC(II)**((SIGMAT(II)-1)/SIGMAT(II))+(1-DELTAT(II))*TC(II)**((SIGMAT(II)-1)/SIGMAT(II)))*(SIGMAT(II)/(SIGMAT(II)-1));$

$$tt_{ii} = bt_{ii}(\delta t_{ii} t_{c_{ii}}^{-\rho t_{ii}} + (1 - \delta t_{ii}) tnc_{ii}^{-\rho t_{ii}})^{-1/\rho t_{ii}}$$

**E2(II) senda de expansión trabajo calificado y no calificado por ramas**

E2(II)..  $TC(II)/TNC(II)=E=CTC*((1-DELTAT(II))/DELTAT(II)*(WNC(II)/WC(II)))*SIGMAT(II);$

$$\frac{tc_{ii}}{tnc_{ii}} = ctc \left( \frac{1 - \delta t_{ii} wnc_{ii}}{\delta t_{ii} wc_{ii}} \right)^{\sigma t_{ii}}$$

**E3(II) remuneración total trabajos por rama**

E3(II)..  $W(II)*TT(II)=E=TC(II)*WC(II)+TNC(II)*WNC(II);$

$$tt_{ii} \cdot w_{ii} = tc_{ii} \cdot wc_{ii} + tnc_{ii} \cdot wnc_{ii}$$

**E4(II) función de producción de la rama (productividad total factorial: BVA)**

E4(IIVA)..

$VA(IIVA)=E=ZZ*BVA(IIVA)*(DELTAVA(IIVA)*TT(IIVA)**((SIGMAVA(IIVA)-1)/SIGMAVA(IIVA))+(1-DELTAVA(IIVA))*K(IIVA)**((SIGMAVA(IIVA)-1)/SIGMAVA(IIVA)))*((SIGMAVA(IIVA)/(SIGMAVA(IIVA)-1));$

**E5(II) senda de expansión capital trabajo de la rama (cambio técnico intensivo en capital: CTK)**

$$va_{iiva} = zz \cdot bva_{iiva} (\delta va_{iiva} tt_{iiva}^{-\rho va_{iiva}} + (1 - \delta va_{iiva}) k_{iiva}^{-\rho va_{iiva}})^{-1/\rho va_{iiva}}$$

E5(IIVA)..  $K(IIVA)/TT(IIVA)=E=CTK*((1-DELTAVA(IIVA))/DELTAVA(IIVA)*(W(IIVA)/R(IIVA)))*((SIGMAVA(IIVA));$

$$\frac{k_{iiva}}{tt_{iiva}} = ctk \left( \frac{1 - \delta va_{iiva} w_{iiva}}{\delta va_{iiva} r_{iiva}} \right)^{\sigma t_{iiva}}$$

**E4A(II) función de producción alternativa de la rama con demanda de capital endógena (SK)**

E4A(IIVA)..

$VA(IIVA)=E=ZZ*BVA(IIVA)*(DELTA VA(IIVA)*TT(IIVA))*((SIGMA VA(IIVA)-1)/SIGMA VA(IIVA))+(1-DELTA VA(IIVA))*SK(IIVA))*((SIGMA VA(IIVA)-1)/SIGMA VA(IIVA)))*((SIGMA VA(IIVA)/(SIGMA VA(IIVA)-1))$ ;

$$va_{iiva} = zz \cdot bva_{iiva} (\delta va_{iiva} tt_{iiva}^{-\rho va_{iiva}} + (1 - \delta va_{iiva}) k_{iiva}^{-\rho va_{iiva}})^{-1/\rho va_{iiva}}$$

**E5A(II) senda de expansión alternativa capital trabajo de la rama con demanda de capital endógena**

E5A(IIVA)..  $SK(IIVA)/TT(IIVA)=E=CTK*((1-$

$DELTA VA(IIVA))/DELTA VA(IIVA)*(W(IIVA)/R(IIVA)))*((SIGMA VA(IIVA))$ );

$$\frac{sk_{iiva}}{tt_{iiva}} = ctk \left( \frac{1 - \delta va_{iiva} w_{iiva}}{\delta va_{iiva} r_{iiva}} \right)^{\sigma_{iiva}}$$

**E6(II) demanda de trabajo de las ramas con precios exógenos. Coeficientes fijos**

E6(IINVA)..  $TT(IINVA)=E=ALFA2(IINVA)*VA(IINVA)$ ;

$$tt_{iinva} = \alpha 2_{iinva} va_{iinva}$$

**E7(II) valor agregado total de la rama**

E7(II)..  $PVA(II)*VA(II)=E=R(II)*K(II)+W(II)*TT(II)$ ;

$$va_{ii} \cdot pva_{ii} = tt_{ii} \cdot w_{ii} + k_{ii} \cdot r_{ii}$$

**E8(II) relación valor agregado a producción de la rama. coeficientes fijos**

E8(II)..  $VA(II)=E=Y(II)*(1-SUM(I,IO(I,II)))$ ;

$$va_{ii} = y_{ii} \left( 1 - \sum_i io_{i,ii} \right)$$

**E9(II) valor total de la producción de la rama**

E9(II)..  $PY(II)*Y(II)=E=PVA(II)*VA(II)+Y(II)*SUM(I,IO(I,II)*PXC(I))$ ;

$$py_{ii} y_{ii} = pva_{ii} va_{ii} + y_{ii} \left( \sum_i io_{i,ii} pxc_i \right)$$

**E10(II) producción de la rama incluyendo impuestos a la rama**

E10(II)..  $YIMP(II)=E=Y(II)*(1+TIR(II))$ ;

$$yimp_{ii} = y_{ii} \cdot (1 + tir_{ii})$$

**E11(II) valor de la producción de la rama incluyendo impuestos a la rama**

E11(II)..  $YIMP(II)*PYIMP(II)=E=Y(II)*PY(II)*(1+TIR(II));$

$$yimp_{ii}pyimp_{ii} = y_{ii}py_{ii}(1 + tir_{ii})$$

**E12(II) función CET de la rama incluyendo índice de uso general de la economía en el denominador**

\*E12(II)..  $YIMP(II)*IU=E=BE(II)*(DELTA E(II)*YD(II)**((SIGMAE(II)-1)/SIGMAE(II))+(1-DELTA E(II))*E(II)**((SIGMAE(II)-1)/SIGMAE(II)))*((SIGMAE(II)/(SIGMAE(II)-1));$

$$yimp_{iiex} \cdot iu = be_{iix}(\delta e_{iiex} e_{iiex}^{-\rho e_{iiex}} + (1 - \delta e_{iiex}) d_{iiex}^{-\rho e_{iiex}})^{-1/\rho e_{iiex}}$$

E12(II)..  $YIMP(II)*IU=E=E(II)+YD(II);$

$$yimp_{ii} \cdot iu = e_{ii} + yd_{ii}$$

**E12A(II) función de agregación alternativa sin índice de uso. Agregación lineal**

E12A(II)..  $YIMP(II)=E=YD(II)+E(II);$

$$yimp_{ii} = yd_{ii} + e_{ii}$$

**E13(II) senda de expansión exportaciones y producción doméstica en ramas con exportaciones endógenas**

E13(IIEX)..  $E(IIEX)/YD(IIEX)=E=((1-$

$DELTA E(IIEX))/DELTA E(IIEX)*(PYD(IIEX)/PE(IIEX)))*SIGMAE(IIEX);$

$$\frac{e_{iiex}}{d_{iiex}} = \left( \frac{1 - \delta e_{iiex} p d_{iixx}}{\delta e_{iiex} p e_{iiex}} \right)^{\sigma e_{iiex}}$$

**E13A(II) supuesto de país pequeño en las exportaciones. El precio de las exportaciones se determina exógenamente: tomador de precios**

E13A(IIEX)..  $PWE(IIEX)=E=PW(IIEX);$

$$pwe_{iiex} = pw_{iiex}$$

**E14(II) determinación de las exportaciones de las ramas con exportaciones exógenas**

E14(IIINEX)..  $E(IIINEX)=E=EK(IIINEX);$

$$e_{iinex} = ek_{iinex}$$

**E15(II) valor total de la producción de la rama. Exportaciones más producción doméstica**

E15(II)..  $YIMP(II)*PYIMP(II)=E=YD(II)*PYD(II)+E(II)*PE(II);$

$$yimp_{ii} * pyimp_{ii} = yd_{ii} \cdot pyd_{ii} + e_{ii} \cdot pe_{ii}$$

**E16(I) agregación de la producción de las ramas por cada tipo de producto**

E16(I)..  $D(I)=E=SUM(II,YD(II)*MP(II,I));$

$$D_i = \sum_{ii} yd_{ii} \cdot mp_{ii,i}$$

**E17(I) definición del valor de cada producto en la agregación de las ramas**

E17(I)..  $PD(I)*D(I)=E=SUM(II,PYD(II)*YD(II)*MP(II,I));$

$$pd_i \cdot d_i = \sum_{ii} pyd_{ii} \cdot yd_{ii} \cdot mp_{ii,i}$$

**E18(I) función Armington para productos con importaciones endógenas**

\*E18(IM)..

$C(IM)+GB(IM)+GS(IM)+FBKF(IM)+FBKFP(IM)+INV(IM)+V(IM)=E=B(IM)*(DELTA(IM)*D(IM)**((SIGMA(IM)-1)/SIGMA(IM)))+(1-DELTA(IM))*M(IM)**((SIGMA(IM)-1)/SIGMA(IM)))*((SIGMA(IM))/(SIGMA(IM)-1));$

$$(c_i + gb_i + gs_i + fbkfi + fbkfp_i + inv_i) = b_i (\delta_i m_i^{-\rho_i} + (1 - \delta_i) d_i^{-\rho_i})^{-1/\rho_i m}$$

E18(IM)..

$C(IM)+GB(IM)+GS(IM)+FBKF(IM)+FBKFP(IM)+INV(IM)+V(IM)=E=(1+IVA(IM)+TIP(IM))*D(IM)+M(IM);$

$$c_i + gb_i + gs_i + fbkfi + fbkfp_i + inv_i + v_i = (1 + iva_i + tip_i \cdot d_i + m_i)$$

**E19(I) agregación de importaciones y producción domésticas en los productos que tienen coeficiente fijo de importaciones**

E19(INM)..

$C(INM)+GB(INM)+GS(INM)+FBKF(INM)+FBKFP(INM)+INV(INM)+V(INM)=E=(1+IVA(INM)+TIP(INM))*D(INM)+M(INM);$

$$c_{inm} + gb_{inm} + gs_{inm} + fbkfinm + fbkfp_{inm} + inv_{inm} + v_{inm} \\ = (1 + iva_{inm} + tip_{inm}) \cdot (d_{inm} + m_{inm})$$

**E20(I) senda de expansión función Armington. Incluye factor exógeno KIMP**

E20(IM)..  $M(IM)/D(IM)=E=KIMP*((1-DELTA(IM))/DELTA(IM)*(PD(IM)/PM(IM)))^{*\Sigma(IM)}$  ;

$$\frac{m_i}{d_i} = kimp \cdot \left( \frac{1 - \delta_i}{\delta_i} \cdot \frac{pd_i}{pm_i} \right)^{\sigma_i}$$

**E21(I) proporción fija de exportaciones para sectores en los que las importaciones no son sensibles al precio**

E21(INM)..  $M(INM)/D(INM)=E=PROPMD(INM)$ ;

$$\frac{m_{imn}}{d_{imn}} = propmd_{imn}$$

**E22(I) valor de las compras de bien agregado incluyendo impuestos indirectos**

E22(I)..

$PXC(I)*(C(I)+GB(I)+GS(I)+FBKF(I)+FBKFP(I)+INV(I)+V(I))=E=(1+IVA(I)+TIP(I))*(D(I)*P$   
 $D(I)+M(I)*PM(I))$ ;

$$pxc_i \cdot c_i + gb_i + gs_i + fbkf_i + fbkfp_i + inv_i + v_i = 1 + iva_i + tip_i \cdot d_i \cdot pd_i + m_i \cdot pm_i$$

**E23(I) definición del precio de las importaciones en moneda doméstica**

E23(I)..  $PM(I)=E=PWM(I)*(1+ARAN(I))*ER$ ;

$$pm_i = pw_i(1 + aran_i)$$

**E24(II) definición del precio de las exportaciones en moneda doméstica**

E24(II)..  $PE(II)=E=PWE(II)*ER$ ;

$$pe_{ii} = pwe_{ii} \cdot er$$

**E25(I) demanda de bienes intermedios. Coeficiente fijos**

E25(I)..  $V(I)=E=SUM(II, Y(II)*IO(I,II))$ ;

$$v_i = \sum_{ii} y_{ii} \cdot io_{i,ii}$$

**E26(II) agregación de demanda mundial. Agregación lineal**

E26(II)..  $EXX(II)=E=EX(II)+E(II)$ ;

$$exx_{ii} = ex_{ii} + e_{ii}$$

**E26A(II) agregación de demanda mundial mediante función CES**

E26A(II)..  $E_{XX(II)} = E = BD(II) * (DELTA D(II) * EX(II) * ((SIGMAD(II)-1)/SIGMAD(II)) + (1 - DELTA D(II)) * E(II) * ((SIGMAD(II)-1)/SIGMAD(II))) * (SIGMAD(II)/(SIGMAD(II)-1));$

**E27(II) senda de expansión demanda mundial. Incluye factor exógeno de ajuste KEXP**

E27(IIEX)..  $E(IIEX)/EX(IIEX) = E = KEXP * ((1 - DELTA D(IIEX))/DELTA D(IIEX) * (PW(IIEX)/PWE(IIEX))) * SIGMAD(IIEX);$

$$\frac{e_{ii}}{ex_{iiex}} = kexp \left( \frac{1 - \delta d_{iiex}}{\delta d_{iiex}} \frac{pw_{iiex}}{pwm_{iiex}} \right)^{\sigma d_{iiex}}$$

**E28(II) precio exógeno de productos con exportaciones exógenas**

E28(IINEX)..  $PWE(IINEX) = E = PW(IINEX);$

$$pwe_{iinex} = pw_{iinex}$$

**E29(IHOG,I) demanda sistema lineal de gasto por hogares**

E29(IHOG,I)..

$CH(IHOG,I) = E = CMIN(IHOG,I) + EME(IHOG,I) / (SUM(J, EME(IHOG,J)) + MSAVE(IHOG)) * (Y DISP(IHOG) - SUM(J, PXC(J) * CMIN(IHOG,J))) / PXC(I);$

E29A(I) CONSUMO TOTAL DE LOS HOGARES DEL BIEN I

E29A(I)..  $C(I) = E = SUM(IHOG, CH(IHOG,I));$

$$c_i = \sum_{ihog} ch_{ihog,i}$$

**E30 relación entre oferta formal e informal de trabajo no calificado**

\*E30..  $WTC = E = SUM(IFF, WC(IFF) * TC(IFF)) / SUM(IFF, TC(IFF));$

$$wtc = \frac{\sum_{iff} wc_{iff} \cdot tc_{iff}}{\sum_{iff} tc_{iff}}$$

\*e30(ihog)..  $peani(ihog)/peanf(ihog) = l = kpean(ihog);$

$$\frac{peani_{ihog}}{peanf_{ihog}} = kpean_{ihog}$$

\*E30(IHOG)..  $PEANI(IHOG)/PEANF(IHOG) = L = KPEAN(IHOG);$

$$\frac{peani_{ihog}}{peanf_{ihog}} = kpean_{ihog}$$

\*E30(IHOG)..  $PEANI(IHOG)/PEANF(IHOG) = E = KPEAN(IHOG);$

$$\frac{peani_{ihog}}{peanf_{ihog}} = kpean_{ihog}$$

E30(IHOG).. PEANI(IHOG)/PEANF(IHOG)=E=((1-  
DELTA(IHOG))/DELTA(IHOG))\*(WTNC\*DISNC(IHOG))\*(1-  
DESEMFN(IHOG))/WTI(IHOG))\*SIGMAS(IHOG) ;

$$\frac{peani_{ihog}}{peanf_{ihog}} = \left( \left( \frac{1 - \delta_{ihog}}{\delta_{ihog}} \right) \cdot (wtnc \cdot disnc_{ihog}) \cdot \left( \frac{desemfn_{ihog}}{wti_{ihog}} \right) \right)^{\sigma_{ihog}}$$

### E31(IH) ingreso factorial de los hogares

E31(IHOG)..

YFAC(IHOG)=E=(TNCFH(IHOG)\*WTNCF(IHOG)+TCH(IHOG)\*WTCH(IHOG))\*(1-  
APORTSS(IHOG))+SUM(IFFPR,K(IFFPR)\*R(IFFPR))\*SHAREK(IHOG)+SUM(IFFP,K(IFFP)  
)\*R(IFFP))\*SHAREKP(IHOG)+TNCIH(IHOG)\*WTI(IHOG);

$$yfac_{ihog} = (tncgh_{ihog} \cdot wtncf_{ihog} \cdot tch_{ihog} \cdot wtch_{ihog}) \cdot \left( 1 - aportss_{ihog} + \sum_{iffpr} k_{iffpr} \cdot r_{iffpr} \cdot sharek_{ihog} + \sum_{iffp} k_{iffp} \cdot r_{iffp} \cdot sharek_{ihog} + tncih_{ihog} \cdot wti_{ihog} \right)$$

### E31A(IH) definición del salario no calificado

E31A(IHOG).. WTNCF(IHOG)=E=WTNC\*DISNC(IHOG);

$$wtncf_{ihog} = wtnc \cdot disnc_{ihog}$$

### E31B(IH) alternativa

\*E31A(IHOGS).. WTNCF(IHOGS)=E=WTNC\*DISNC(IHOGS);

$$wtncf_{ihog} = wtnc \cdot disnc_{ihogs}$$

### E31C(IH) para fijar el desempleo de algunos hogares

\*E31C(IHOGA).. DESEMFN(IHOGA)=E=DESEMFNX(IHOGA);

$$desemfn_{ihoga} = desemfnx_{ihog}$$

### E31D(IH) relación salarios calificados con la máxima calificación

E31D(IHOG).. WTCH(IHOG)=E=WTC\*DISC(IHOG);

$$wtch_{ihog} = wtc \cdot disc_{ihog}$$

\*E31D(IHOGS).. WTCH(IHOGS)=E=RELWTC(IHOGS)\*WTCH("U10");

$$wtch_{ihogs} = relwtc_{ihogs} \cdot wtch_{u10}$$

\*E31D(IHOGS).. WTCH(IHOGS)=E=RELWTC(IHOGS)\*WTCH("HU");

$$wtch_{ihogs} = relwtc_{ihogs} \cdot wtch_{hu}$$

### E31E cierre salarios mercado laboral calificado

E31E.. SUM(IHOG,TCH(IHOG)\*WTCH(IHOG))=E=SUM(II,TC(II)\*WC(II));

$$\sum_{ihog} tch_{ihog} \cdot wtch_{ihog} = \sum_{ii} tc_{ii} \cdot wc_{ii}$$

### E31H determinación del salario calificado

E31H(IHOG)..

WTCH(IHOG)=E=SHAREWTC(IHOG)\*SUM(II,TC(II)\*WC(II))/TCH(IHOG);

$$wtch_{ihog} = sharewtc_{uhog} \cdot \sum_{ii} \frac{tc_{ii} \cdot wc_{ii}}{tch_{ihog}}$$

### E32(IH) ingreso factorial de las empresas

E32("EMP")..

YFAC("EMP")=E=SUM(IFFPR,K(IFFPR)\*R(IFFPR))\*SHAREK("EMP")+SUM(IFFP,K(IFFP)\*R(IFFP))\*SHAREKP("EMP")+SUM(IHOG,(TNCFH(IHOG)\*WTNCF(IHOG)+TCH(IHOG)\*WTCH(IHOG))\*APORTSS(IHOG))\*PSS("EMP");

$$yfac_{emp} =$$

### E33(IH) ingreso factorial del gobierno central

E33("GOB")..

YFAC("GOB")=E=SUM(IFFPR,K(IFFPR)\*R(IFFPR))\*SHAREK("GOB")+SUM(IFFP,K(IFFP)\*R(IFFP))\*SHAREKP("GOB")+SUM(IHOG,(TNCFH(IHOG)\*WTNCF(IHOG)+TCH(IHOG)\*WTCH(IHOG))\*APORTSS(IHOG))\*PSS("GOB");

$$yfac_{gob} =$$

### E33A(IH) ingreso factorial de los gobiernos locales

E33A("GOBL")..

YFAC("GOBL")=E=SUM(IFFPR,K(IFFPR)\*R(IFFPR))\*SHAREK("GOBL")+SUM(IFFP,K(IFFP)\*R(IFFP))\*SHAREKP("GOBL")+SUM(IHOG,(TNCFH(IHOG)\*WTNCF(IHOG)+TCH(IHOG)\*WTCH(IHOG))\*APORTSS(IHOG))\*PSS("GOBL");

$$yfac_{gobl} =$$

**E33B(IH) ingreso factorial de la seguridad social pública**

E33B("GOBSS")..

YFAC("GOBSS")=E=SUM(IFFPR,K(IFFPR)\*R(IFFPR))\*SHAREK("GOBSS")+SUM(IFFP,K(IFFP)\*R(IFFP))\*SHAREKP("GOBSS")+SUM(IHOG,(TNCFH(IHOG)\*WTNCF(IHOG)+TCH(IHOG)\*WTCH(IHOG))\*APORTSS(IHOG))\*PSS("GOBSS");

$$yfac_{gob} =$$

**E34(IH) ingreso factorial del resto del mundo**

E34("RM")..

YFAC("RM")=E=SUM(IFFPR,K(IFFPR)\*R(IFFPR))\*SHAREK("RM")+SUM(IFFP,K(IFFP)\*R(IFFP))\*SHAREKP("RM");

$$yfac_{gob} =$$

**E35 rentas totales pagadas por las instituciones**

E35.. RENTA=E=SUM(IH, PORCR(IH)\*YFAC(IH));

$$renta = \sum_{ih} porcr_{ih} \cdot yfac_{ih}$$

**E36 transferencias totales pagadas por las instituciones**

E36.. TRANSF=E=SUM(IH,YFAC(IH)\*PORCT(IH)+TRANSK(IH)\*ER);

$$transf = \sum_{ih} yfac_{ih} \cdot portc_{ih} + transk_{ih} \cdot er$$

**E37(IH) ingreso disponible de los hogares**

E37(IHOG).. YDISP(IHOG)=E=YFAC(IHOG)\*(1-

IMPD(IHOG))+(TNCFH(IHOG)\*WTNCF(IHOG)+TCH(IHOG)\*WTCH(IHOG))\*APORTSS(I

HOG)\*PSS("EMP")\*PREST("EMP")+PSS("GOB")\*PREST("GOB")+PSS("GOBL")\*PREST("GOBL")+PSS("GOBSS")\*PREST("GOBSS")+RENTA\*SHARER(IHOG)+TRANSF\*SHARET(IHOG)+RDEUDAI\*DISPNF\*SHAREINT(IHOG)+SHAREPENS(IHOG)\*PENSION+TRANSHOG(IHOG);

$$ydisp_{ihog} = yfac_{ihog} \cdot (1 - impd_{ihog}) + (tncfh_{ihog} \cdot wtncf_{ihog} + tch_{ihog} \cdot wtch_{ihog}) \cdot aportss_{(ihog)} \cdot (pss_{emp} \cdot prest_{emp} + pss_{gob} \cdot prest_{gob} + pss_{gobl} \cdot prest_{gobl} + pss_{gobss} \cdot pre_{gobss}) + renta \cdot sharer_{ihog} + transf \cdot sharet_{ihog} + rdeudai \cdot dispnf \cdot shareint_{ihog} + sharepens_{ihog} \cdot pension + transhog_{ihog}$$

### E38(IIH) ingreso disponible de las empresas

E38("EMP").. YDISP("EMP")=E=YFAC("EMP")\*(1-IMPD("EMP"))-SUM(IHOG,(TNCFH(IHOG)\*WTNCF(IHOG)+TCH(IHOG)\*WTCH(IHOG))\*APORTSS(IHOG))\*PSS("EMP")\*PREST("EMP")+RENTA\*SHARER("EMP")+TRANSF\*SHARET("EMP")-YFAC("EMP")\*(PORCR("EMP")+PORCT("EMP"));

$$ydisp_{emp} = yfac_{emp} \cdot (1 - impd_{emp}) - \left( \sum_{ihog} tncfh_{ihog} \cdot wtncf_{ihog} + tch_{ihog} \cdot wtch_{ihog} \cdot aportss_{ihog} \right) \cdot prest_{emp} + renta \cdot sharer_{emp} + transf \cdot sharet_{emp} - yfac_{emp} \cdot (porcr_{emp} + porct_{emp})$$

### E39(IIH) ingreso disponible del gobierno central

E39("GOB").. YDISP("GOB")=E=YFAC("GOB")-SUM(IHOG,(TNCFH(IHOG)\*WTNCF(IHOG)+TCH(IHOG)\*WTCH(IHOG))\*APORTSS(IHOG))\*PSS("GOB")\*PREST("GOB")+RENTA\*SHARER("GOB")+TRANSF\*SHARET("GOB")-YFAC("GOB")\*(PORCR("GOB")+PORCT("GOB"))+YTRIB\*(1-SGP)-RDEUDAE\*DESPNF\*ER-RDEUDAI\*DISPNF-PENSION;

$$ydisp_{gob} = yfac_{gob} - \left( \sum_{ihog} tncfh_{ihog} \cdot wtncf_{ihog} + tch_{ihog} \cdot wtch_{ihog} \right) \cdot aportss_{gob} \cdot pss_{gob} \\ \cdot prest_{gob} + renta \cdot sharer_{gob} + transf \cdot sharet_{gob} - yfac_{gob} \\ \cdot (porcr_{gob} + porct_{gob}) + ytrib \cdot (1 - sgp) - rdeudae \cdot despnf \cdot er - rdeudai \\ \cdot dispnf - pension$$

### E39A(IH) ingreso disponible de los gobiernos locales

E39A("GOBL").. YDISP("GOBL")=E=YFAC("GOBL")-  
SUM(IHOG,(TNCFH(IHOG)\*WTNCF(IHOG)+TCH(IHOG)\*WTCH(IHOG))\*APORTSS(IHOG))\*PSS("GOBL")\*PREST("GOBL")+RENTA\*SHARER("GOBL")+TRANSF\*SHARET("GOBL")-  
YFAC("GOBL")\*(PORCR("GOBL")+PORCT("GOBL"))+SHARETIR("GOBL")\*SUM(II,Y(II))\*PY(II)\*TIR(II)+SHAREIVA("GOBL")\*SUM(I,(PD(I)\*D(I)+PM(I)\*M(I))\*IVA(I))+SHARETIP("GOBL")\*SUM(I,(PD(I)\*D(I)+PM(I)\*M(I))\*TIP(I))+SHAREID("GOBL")\*SUM(IH,YFAC(IH)\*IMPD(IH))+SGP\*YTRIB+SHAREPENS("GOBL")\*PENSION;

$$ydisp_{gobl} = yfac_{gobl} - \left( \sum_{ihog} tncfh_{ihog} \cdot wtncf_{ihog} + tch_{ihog} \cdot wtch_{ihog} \right) \cdot aportss_{ihog} \cdot pss_{gobl} \\ \cdot prest_{gobl} + renta \cdot sharer_{gobl} + transf \cdot sharet_{gobl} - yfac_{gobl} \\ \cdot (porcr_{gobl} + porct_{gobl}) + sharetip_{gobl}$$

### E39B(IH) ingreso disponible de la seguridad social pública

E39B("GOBSS").. YDISP("GOBSS")=E=YFAC("GOBSS")-  
SUM(IHOG,(TNCFH(IHOG)\*WTNCF(IHOG)+TCH(IHOG)\*WTCH(IHOG))\*APORTSS(IHOG))\*PSS("GOBSS")\*PREST("GOBSS")+RENTA\*SHARER("GOBSS")+TRANSF\*SHARET("GOBSS")-  
YFAC("GOBSS")\*(PORCR("GOBSS")+PORCT("GOBSS"))+SHARETIR("GOBSS")\*SUM(II,Y(II))\*PY(II)\*TIR(II)+SHAREIVA("GOBSS")\*SUM(I,(PD(I)\*D(I)+PM(I)\*M(I))\*IVA(I))+SHARETIP("GOBSS")\*SUM(I,(PD(I)\*D(I)+PM(I)\*M(I))\*TIP(I))+SHAREID("GOBSS")\*SUM(IH,YFAC(IH)\*IMPD(IH))+SHAREPENS("GOBSS")\*PENSION;

### E40(IH) ingreso disponible del resto del mundo

E40("RM").. YDISP("RM")=E=YFAC("RM")+RENTA\*SHARER("RM")-  
TRANSK("RM")\*ER+RDEUDAE\*DESPNF\*ER;

$$ydis_R = YFA_{RM} + renta \cdot sharer_{rm} - transk_{rm} \cdot er + rdeude \cdot despnf \cdot er$$

### E39C rentas tributarias del gobierno central

E39C..

YTRIB=E=SHARETIR("GOB")\*SUM(II,Y(II)\*PY(II)\*TIR(II))+SUM(I,M(I)\*PWM(I)\*ARAN  
(I))\*ER+SHAREIVA("GOB")\*SUM(I,(PD(I)\*D(I)+PM(I)\*M(I))\*IVA(I))+SHARETIP("GOB"  
)\*)\*SUM(I,(PD(I)\*D(I)+PM(I)\*M(I))\*TIP(I))+SHAREID("GOB")\*SUM(IH,YFAC(IH)\*IMPDI  
H));

$$ytrib = sharetir_{gob} \cdot \left( \sum_{ii} y_{ii} \cdot py_{ii} \cdot tir_{ii} \right) + \left( \sum_i m_i \cdot pwm_i \cdot aran_i \right) \cdot er + shareiva_{gob} \\ \cdot \left( \sum_i pd_i \cdot d_i + pm_i \cdot m_i \cdot iva_i \right) + sharetip_{gob} \cdot \left( \sum_i pd_i \cdot d_i + pm_i \cdot m_i \cdot tip_i \right) \\ + shareid_{gob} \cdot \left( \sum_{ih} yfac_{ih} \cdot impd_{ih} \right)$$

### E41(IH) ahorro de los hogares

E41(IHOG)..

SAVE(IHOG)=E=MSAVE(IHOG)/(SUM(J,EME(IHOG,J))+MSAVE(IHOG))\*(YDISP(IHOG)  
-SUM(J,PXC(J)\*CMIN(IHOG,J)));

$$save_{ihog} = \frac{msave_{ihog}}{\dots}$$

### E42(IH) ahorro de las empresas

E42("EMP").. SAVE("EMP")=E=YDISP("EMP");

$$save_{emp} = ydisp_{emp}$$

### E43(IH) ahorro del gobierno central

E43("GOB").. SAVE("GOB")=E=YDISP("GOB")-  
SUM(I,GB(I)\*PXC(I))\*GBT("GOB")/SUM(IH,GBT(IH))-  
SUM(I,GS(I)\*PXC(I))\*GST("GOB")/SUM(IH,GST(IH));

$$save_{gob} = ydisp_{gob} - \frac{\sum_i gb_i \cdot pxc_i \cdot gtb_{gob}}{\sum_{ih} gbt_{ih}} - \frac{\sum_i gs_i \cdot pxc_i \cdot gts_{gob}}{\sum_{ih} gts_{ih}}$$

**E43A(IH) ahorro de los gobiernos locales**

E43A("GOBL").. SAVE("GOBL")=E=YDISP("GOBL")-  
SUM(I,GB(I)\*PXC(I))\*GBT("GOBL")/SUM(IH,GBT(IH))-  
SUM(I,GS(I)\*PXC(I))\*GST("GOBL")/SUM(IH,GST(IH));

$$save_{gobl} = ydisp_{gobl} - \frac{\sum_i gb_i \cdot pxc_i \cdot gtb_{gobl}}{\sum_{ih} gbt_{ih}} - \frac{\sum_i gs_i \cdot pxc_i \cdot gts_{gobl}}{\sum_{ih} gts_{ih}}$$

**E43B(IH) ahorro de la seguridad social pública**

E43B("GOBSS").. SAVE("GOBSS")=E=YDISP("GOBSS")-  
SUM(I,GB(I)\*PXC(I))\*GBT("GOBSS")/SUM(IH,GBT(IH))-  
SUM(I,GS(I)\*PXC(I))\*GST("GOBSS")/SUM(IH,GST(IH));

$$save_{gobss} = ydisp_{gobss} - \frac{\sum_i gb_i \cdot pxc_i \cdot gtb_{gobss}}{\sum_{ih} gbt_{ih}} - \frac{\sum_i gs_i \cdot pxc_i \cdot gts_{gobss}}{\sum_{ih} gts_{ih}}$$

**E44(IH) ahorro del resto del mundo**

E44("RM").. SAVE("RM")=E=FK\*ER+MILEGAL\*SUM(I,M(I)\*PWM(I))\*ER;

$$save_{rm} = fk \cdot er + milegal \cdot \left( \sum_i m_i \cdot pwm_i \right) \cdot er$$

**E45(I) gasto de funcionamiento por producto de las entidades públicas**

E45(I).. GB(I)=E=SUM(IH,GBT(IH))\*SHAREGB(I);

$$gb_i = \left( \sum_{ih} gtb_{ih} \right) \cdot sharegb_i$$

**E46(I) gasto social por producto de las instituciones públicas**

E46(I).. GS(I)=E=SUM(IH,GST(IH))\*SHAREGS(I);

$$gs_i = \left( \sum_{ih} gts_{ih} \right) \cdot sharegs_i$$

**E47 equilibrio ahorro e inversión**

E47..

FBKFT\*SUM(I,SHAREI(I)\*PXC(I))+FBKFPT\*SUM(I,SHAREIP(I)\*PXC(I))=E=SUM(IH,SAVE(IH))-SUM(I,INV(I)\*PXC(I));

$$fbkft \cdot \left( \sum_{ih} sherei \cdot pxc_i \right) + fbkpt \cdot \left( \sum_{ih} shereip_i \cdot pxc_i \right) = \left( \sum_{ih} save_{ih} \right) - \left( \sum_i inv_i \cdot pxc_i \right)$$

**E48(I) inversión sectorial por origen**

E48(I)..  $FBKF(I)=E=FBKFT*SHAREI(I);$

$$fbkf_i = fbkft \cdot share_i$$

**E48A(I) conversión de inversión por destino en inversión por origen**

E48A(I)..  $FBKF(I)=E=SUM(II,IOD(I,II)*IDES(II));$

$$fbkf_i = \sum_{ii} iod_{i,ii} \cdot ides_{ii}$$

**E48B(II) inversión por destino exógenamente determinada**

E48B(II)..  $IDES(II)=E=IDESK(II);$

$$ides_{ii} = idesk_{ii}$$

**E48C(II) inversión por destino en función de la rentabilidad**

E48C(II)..  $IDES(IIFF)=E=A(IIFF)**(-SIGMAI)*(R(IIFF)/RANT(IIFF))**(1-SIGMAI)*FBKFT/QI;$

$$ides_{i,iff} = a_{i,iff} \left( -\sigma \frac{r_{i,iff}}{r_{ant_{i,iff}}} \right)^{1-\sigma \frac{fbkft}{qi}}$$

**E48D parámetro de la función de inversión por destino**

E48D..  $QI=E=SUM(IIFF,A(IIFF)**(-SIGMAI)*(R(IIFF)/RANT(IIFF))**(1-SIGMAI));$

$$qi = \sum_{i,iff} a_{i,iff} \left( -\sigma \frac{r_{i,iff}}{r_{ant_{i,iff}}} \right)^{1-\sigma}$$

**E49(I) acumulación de inventarios sectoriales**

E49(I)..  $INV(I)=E=TINV(I)*(D(I)+M(I));$

$$inv_i = tinv_i \cdot d_i + m_i$$

**E50 equilibrio el mercado de trabajo calificado**

E50(IHOG)..  $PEAC(IHOG)*(1-$

$DESEMP(IHOG))=E=SHARETC(IHOG)*SUM(IIFF,TC(IIFF));$

$$peac_{ihog} \cdot (1 - desemp_{ihog}) = sharec_{ihog} \cdot \sum_{i,iff} tc_{i,iff}$$

**E50A suma oferta y demanda trabajo calificado**

E50A..  $SUM(IHOG, PEAC(IHOG) * (1 - DESEMP(IHOG))) = E = SUM(IFF, TC(IFF));$

$$\sum_{ihog} peach_{ihog} \cdot (1 - desemp_{ihog}) = \sum_{iff} tc_{iff}$$

**E51 empleo total no calificado informal**

E51..  $SUM(IHOG, PEANI(IHOG)) = E = SUM(IFN, TNC(IFN));$

$$\sum_{ihog} peani_{ihog} = \sum_{ifn} tnc_{ifn}$$

**E52 definición del desempleo total**

E52..  $DESEMP = E = (SUM(IHOG, PEAC(IHOG) + PEANF(IHOG) + PEANI(IHOG)) -$

$SUM(II, TC(II)) -$

$SUM(II, TNC(II))) / (SUM(IHOG, PEAC(IHOG) + PEANF(IHOG) + PEANI(IHOG)));$

$$desemp = \left( \sum_{ihog} peach_{ihog} + peanf_{ihog} + peani_{ihog} \right) + \left( \sum tc_{ii} \right) - \frac{\sum_{ii} tnc_{ii}}{\sum_{ihog} peach_{ihog} + peanf_{ihog} + peani_{ihog}}$$

**E53(II) salario no calificado formal por rama**

\*E53(IFF)..  $WNC(IFF) = E = WTNC * WDIST(IFF);$

$$wnc_{iff} = wtnc \cdot wdist_{iff}$$

E53(IFF)..  $WNC(IFF) = E = WTNC * WDIST(IFF);$

$$wnc_{iff} = wtnc \cdot wdist_{iff}$$

**E54(II) salario calificado formal por rama**

E54(IFF)..  $WC(IFF) = E = WTC * WCDIST(IFF);$

$$wc_{iff} = wtc \cdot wcdist_{iff}$$

**E55 población calificada inactiva en función del ingreso y del salario**

E55(IHOG)..  $PETC(IHOG) - PEAC(IHOG) = E = GAMA1(IHOG) * (YDISP(IHOG) -$

$SUM(I, PXC(I) * CMIN(IHOG, I))) / EWC(IHOG);$

$$petc_{ihog} - peac_{ihog} = \gamma_{1ihog} \cdot \left( \frac{ydisp_{ihog} - \sum_i pxc_i \cdot cmin_{ihog,i}}{ewc_{ihog}} \right)$$

\*E55(IHOG).. PEAC(IHOG)=E=PETC(IHOG)\*RPEAC(IHOG);

$$petc_{ihog} = petc_{ihog} \cdot rpeac_{ihog}$$

**E56 población no calificada inactiva en función del ingreso y del salario**

E56(IHOG).. PETN(IHOG)-PEAN(IHOG)=E=GAMA2(IHOG)\*(YDISP(IHOG)-SUM(I,PXC(I)\*CMIN(IHOG,I)))/EWC(IHOG);

$$petn_{ihog} - pean_{ihog} = \gamma_{2ihog} \cdot \left( \frac{ydisp_{ihog} - \sum_i pxc_i \cdot cmin_{ihog,i}}{ewc_{ihog}} \right)$$

\*E56(IHOG).. PEAN(IHOG)=E=PETN(IHOG)\*RPEANC(IHOG);

$$petc_{ihog} = petn_{ihog} \cdot rpeac_{ihog}$$

**E57 agregación de la población económicamente activa no calificada formal e informal**

E57(IHOG).. PEAN(IHOG)=E=PEANF(IHOG)+PEANI(IHOG);

$$pean_{ihog} = peanf_{ihog} + peani_{ihog}$$

**E58 ingreso laboral neto no calificado incluyendo efecto del desempleo**

E58(IHOG).. EWC(IHOG)\*PEAN(IHOG)=E=PEANF(IHOG)\*DISNC(IHOG)\*WTNC\*(1-DESEMFN(IHOG))+PEANI(IHOG)\*WTI(IHOG);

$$exnc_{ihog} \cdot pean_{ihog} = peanf_{ihog} \cdot disnc_{ihog} \cdot wtnc \cdot (1 - desmf_{ihog} + peani_{ihog} \cdot wti_{ihog})$$

**E59 ingreso laboral neto calificado incluyendo efecto del desempleo**

E59(IHOG).. EWC(IHOG)=E=WTCH(IHOG)\*(1-DESEMP(IHOG));

$$ewc_{ihog} = wtch_{ihog} \cdot (1 - desem_{ihog})$$

**E60 desempleo no calificado formal**

\*E60(IHOG).. DESEMFN(IHOG)=E=(PEANF(IHOG)-SUM(IFF,TNC(IFF)))/PEANF(IHOG);

$$desemfn_{ihog} = peanf_{ihog} - \sum_{iff} \frac{tnc_{iff}}{peanf_{ihog}}$$

E60.. SUM(IHOG,PEANF(IHOG)\*(1-DESEMFN(IHOG)))=E=SUM(IFF,TNC(IFF));

**E61 definición del IPC**

E61..  $IPC=E=SUM(I,PXC(I)*SHARE(I))/SUM(I,SHARE(I));$

$$ipc = \frac{\sum_i pxc_i \cdot share_i}{\sum_i share_i}$$

**E62A definición del ingreso informal promedio**

E62(IFN)..  $WNC(IFN)=E=WTIT;$

$$wnc_{ifn} = wtit$$

\*E62A(IHOG)..  $WTIT=E=WTI(IHOG);$

$$wnc_{ifn} = wtit$$

\*E62A..

$WTIT=E=SUM(IHOG,WTI(IHOG)*PEANI(IHOG))/SUM(IHOG,PEANI(IHOG));$

$$wtit = \frac{\sum_{ihog} wti_{ihog} \cdot peani_{ihog}}{\sum_{ihog} peani_{ihog}}$$

E62A(IHOG)..  $WTI(IHOG)=E=WTIT*DISNCI(IHOG);$

$$wti_{ihog} = wtit \cdot disnci_{ihog}$$

**E63 impacto sobre la productividad de la infraestructura**

E63..  $ZZ=E=(STOCKP/ZZK)**SIGMAZ;$

$$zz = \frac{stockp^{sigmaz}}{zzk}$$

**E64(I) demanda de inversión por origen de infraestructura**

E64(I)..  $FBKFP(I)=E=FBKFPT*SHAREIP(I);$

$fbkfp_i = fbkfp_t \cdot shareip_i$ ; **E65 determinación exógena del desempleo calificado**

E65(IHOG)..  $DESEMP(C)=E=DESEMP(CX);$

$$desemp_{ihog} = desemp_{ihog}$$

**E66 determinación exógena salario no calificado formal**

E66..  $WTNC=E=WTNCX;$

$$wtnc = wtncx$$

**E67 determinación exógena del IPC**

E67..  $IPC=E=IPCX;$

$$ipc = ipcx$$

**E68(II) ecuación auxiliar para fijar el ingreso informal calificado. Dado que no existe tal tipo de trabajo se iguala a 1**

E68(IFN)..  $WC(IFN)=E=1$ ;

$$wc_{ifn} = 1$$

**E69(I) indexación del precio doméstico de los bienes con precios exógenos**

E69(INVA)..  $PD(INVA)=E=IPC$ ;

$$pd_{inva} = IPC$$

**E69A(I) indexación para el modelo con ahorro e inversión**

E69A(INVA)..  $PD(INVA)=E=IPCX$ ;

$$pd_{inva} = ipcx$$

**E70 determinación exógena de la inversión**

E70..  $FBKFT=E=FBKFTX$ ;

$$fbkft = fbkftx$$

**definición capital total en el modelo de inversión**

E70A..  $KTOTAL=E=SUM(II,K(II))$ ;

$$ktotal = \sum_{ii} k_{ii}$$

**E70B inversión**

E70B..  $FBKFT=E=Q*KTOTAL$ ;

$$fbkft = q \cdot ktotal$$

**E70C coeficiente de inversión capital**

E70C..  $Q=E=(1/GAMAI)*((RMK/IPC)/(1+IIR)-1)$ ;

$$q = \left(\frac{1}{\gamma i}\right) \cdot \left(\frac{\frac{rmk}{ipc}}{(1 + IIR) - 1}\right)$$

**E70D rendimiento promedio del capital**

E70D..  $RTOTAL=E=SUM(II,R(II)*K(II))/KTOTAL$ ;

$$rtotal = \frac{\sum_{ii} r_{ii} \cdot k_{ii}}{ktotal}$$

**E70E rendimiento marginal del capital**

E70E..  $RMK=E=(RMKANT-RTOTAL+GAMAI*Q**2/2+Q)*(1+IIR)/(1-DEPR+Q);$

$$rmk = \left( rmkant - rtotal \cdot q^{\frac{2}{2+q}} \right) \cdot \frac{1 + iir}{1 - depr + q}$$

**E70F inversión total como agregación inversión por destino**

E70F..  $FBKFT=E=SUM(II,IDES(II));$

$$fbkft = \sum_{ii} des_{ii}$$

\*E70G(II)..  $IDES(II)=E=QS(II)*K(II);$

$$ides_{ii} = qs_{ii} \cdot k_{ii}$$

\*E70H(II)..  $QS(II)=E=(1/GAMAS(II))*((RMKS(II)/IPC)/(1+IIR)-1);$

$$qs_{ii} = \frac{1}{\gamma s_{ii}} \cdot \frac{\frac{rmks_{ii}}{ipc}}{(1 + iir) - 1}$$

**E71 resultado fiscal SPNF**

\*E71..

$RFISCAL=E=SUM(II,Y(II)*PY(II)*TIR(II))+SUM(I,M(I)*PWM(I)*ARAN(I))*ER+SUM(I,(P$   
 $D(I)*D(I)+PM(I)*M(I))*IVA(I))+SUM(I,(PD(I)*D(I)+PM(I)*M(I))*TIP(I))+SUM(IH,YFAC(I$   
 $H)*IMPD(IH))+SUM(IHOG,(PEANF(IHOG)*WTNC*DISNC(IHOG))*(1-$   
 $DESEMFN(IHOG))+PEAC(IHOG)*WTC*DISC(IHOG))*(1-$   
 $DESEMPX(IHOG))*APORTSS(IHOG))*PSS("GOB")+SUM(IFFPR,K(IFFPR)*R(IFFPR))*$   
 $SHAREK("GOB")+SUM(IFFP,K(IFFP)*R(IFFP))*SHAREKP("GOB")+RENTA*SHARER("$   
 $GOB")+TRANSF*SHARET("GOB")-YFAC("GOB")*(PORCR("GOB")+PORCT("GOB"))-$   
 $SUM(IHOG,(PEANF(IHOG)*WTNC*DISNC(IHOG))*(1-$   
 $DESEMFN(IHOG))+PEAC(IHOG)*WTC*DISC(IHOG))*(1-$   
 $DESEMPX(IHOG))*APORTSS(IHOG))*PSS("GOB")*PREST("GOB")-$   
 $SUM(I,GB(I)*PXC(I)+GS(I)*PXC(I))-RDEUDAE*DESPNF*ER-RDEUDAI*DISPNF-$   
 $FBKFPT*SUM(I,SHAREIP(I)*PXC(I));$

$$\begin{aligned}
 rfiscal = & \left( \sum_{ii} y_{ii} \cdot py_{ii} \cdot tir_{ii} \right) + \left( \sum_i m_i \cdot pwm_i \cdot aran_i \right) \cdot er + \left( \sum_i pd_i \cdot d_i \cdot pm_i \cdot m_i \right) \cdot iva_i \\
 & + \left( \sum_i pd_i \cdot d_i \cdot pm_i \cdot m_i \right) \cdot tip_i + \left( \sum_{ih} yfac_{ih} \cdot impd_{ih} \right) \\
 & + \left( \sum_{ihog} peanf_{ihog} \cdot wtnc \cdot disnc_{ihog} \cdot (1 - desemfn_{ihog}) + peac_{ihog} \cdot wtc \cdot disc_{ihog} \right. \\
 & \cdot (1 - desempcx_{ihog}) \cdot aportss_{ihog} \cdot pss_{gob} \left. \right) + \left( \sum_{iffpr} k_{iffpr} \cdot r_{iffpr} \right) \cdot sharek_{gob} \\
 & + \left( \sum_{iffp} k_{iffp} \cdot r_{iffp} \cdot sharekp_{gob} + renta \cdot sharer_{gob} + transf \cdot sharet_{gob} \right. \\
 & \left. - yfac_{gob} \cdot porcr_{gob} + porct_{gob} \right) \\
 & - \left( \sum_{ihog} peanf_{ihog} \cdot wtnc \cdot disnc_{ihog} \cdot (1 - desemfm_{ihog}) \cdot aportss_{ihog} \cdot pss_{gob} \right. \\
 & \left. \cdot prest_{gob} \right) \\
 & - \left( \sum_i (gb_i \cdot pxc_i + gs_i \cdot pxc_i) - recaude \cdot despnf \cdot er - despnf - fbkfpt \right) \\
 & \cdot \left( \sum_i shareip_i \cdot pxc_i \right)
 \end{aligned}$$

**E72** definición exógena del índice de uso de la capacidad instalada

E72.. IU=E=1;

$$ui = 1$$

**E73(II)** remuneración exógena al capital en los sectores con precio exógeno

E73(IIVA).. R(IIVA)=E=R0(IIVA);

$$r_{iiva} = r_{0iiva}$$

**E74(IHOG)** tasa de ahorro de los hogares

E74(IHOG).. MSAVE(IHOG)=E=M0(IHOG);

$$msave_{ihog} = m0_{ihog}$$

E74A(IHOG).. MSAVE(IHOG)=E=1-(1-BETA)\*(1+TIB)/(1+TIB-PROBY(IHOG)\*(1+EXPG));

$$msave_{ihog} = \frac{1 - (1 - \beta) \cdot (1 + tib)}{1 + tib - proby_{ihog} \cdot (1 + expg)}$$

**E74A(IHOG) definición alternativa tasa de ahorro. Heurística y optimización**

**E74B(IHOG) definición alternativa tasa de ahorro. Heurística y optimización. Tasa de interés real**

E74B(IHOG).. MSAVE(IHOG)=E=1-(1-

BETA)\*((1+TIB)/(IPC/IPCANT))/((1+TIB)/(IPC/IPCANT)-PROBY1(IHOG)\*(1+EXPG));

$$msave_{ihog} = \frac{\frac{1 - (1 - \beta) \cdot (1 + tib)}{ipc/ipcant}}{\frac{ipc}{ipcant} - proby1_{ihog} \cdot (1 + expg)}$$

**E74C(IHOG) tasa de ahorro exógena de hogares en modelos guiados por la inversión**

E74C(IHOGN).. MSAVE(IHOGN)=E=M0(IHOGN);

$$msave_{ihogn} = m0_{ihogn}$$

**E74A(IHOG) definición alternativa tasa de ahorro. heurística y optimización**

E75A(IICM)..

LAMDA(IICM)\*Y(IICM)=E=RCM(IICM)\*K(IICM)+W(IICM)\*TT(IICM)+Y(IICM)\*SUM(I,I O(I,IICM)\*PXC(I));

$$lamda_{iicm} \cdot y_{iicm} = rc_{iicm} \cdot k_{iicm} + w_{iicm} \cdot tt_{iicm} + y_{iicm} \cdot \sum_i iicm \cdot pxc_i$$

**E74B(IHOG) definición alternativa tasa de ahorro. heurística y optimización. tasa de interés real**

E75B(IICM).. PY(IICM)=E=(1+MARKUP(IICM))\*LAMDA(IICM);

$$py_{iicm} = (1 + markup_{iicm}) \cdot iicm$$

**E75C(II) definición de la ganancia en competencia monopolística**

E75C(IICM).. GAN(IICM)=E=(PY(IICM)-LAMDA(IICM))\*Y(IICM);

$$gan_{iicm} = (py_{iicm} - \lambda_{iicm}) \cdot y_{iicm}$$

**E75D(II) definición de ganancia por unidad de capital competencia monopolística**

E75D(IICM)..  $RPU(IICM)=E=GAN(IICM)/K(IICM)$ ;

$$rcpu_{iicm} = \frac{gan_{iicm}}{k_{iicm}}$$

**E75E(II) definición de la remuneración total al capital competencia monopolística**

E75E(IICM)..  $R(IICM)=E=RCM(IICM)+RPU(IICM)$ ;

$$r_{iicm} = rcm_{iicm} + rpu_{iicm}$$

**E75F(II) definición valor de la producción en competencia perfecta**

E75F(IINCM)..

$PY(IINCM)*Y(IINCM)=E=PVA(IINCM)*VA(IINCM)+Y(IINCM)*SUM(I,IO(I,IINCM)*PXC(I))$ ;

$$py_{iincm} \cdot y_{iincm} = pva_{iincm} \cdot va_{iincm} + y_{iincm} \cdot \left( \sum_i io_{incm} \cdot pxc_i \right)$$

**E75G(II) definición valor de la producción con precios exógenos**

E75G(IINVA)..

$PY(IINVA)*Y(IINVA)=E=PVA(IINVA)*VA(IINVA)+Y(IINVA)*SUM(I,IO(I,IINVA)*PXC(I))$ ;

$$py_{iinva} \cdot y_{iinva} = pva_{iinva} \cdot va_{iinva} + y_{iinva} \cdot \left( \sum_i io_{iinva} \cdot pxc_i \right)$$

**E76(II) uso de capacidad instalada sectorial**

E76(IIVA)..  $SK(IIVA)=E=IUK*K(IIVA)$ ;

$$sk_{iiva} = iuk \cdot k_{iiva}$$

**E77 definición del índice de uso del capital**

E77..  $IUK=E=1$ ;

$$iuk = 1$$

**Distribución del desempleo formal entre los hogares**

E80(IHOG)..  $TNCFH(IHOG)=E=PEANF(IHOG)-$

$SHAREUN(IHOG)*(SUM(JHOG,PEANF(JHOG))-SUM(IFF,TNC(IFF)))$ ;

$$tncfh_{ihog} = peanf_{ihog} - shareun_{ihog} \cdot \left( \sum_{jhog} peanf_{jhog} \right) - \sum_{iff} tnc_{iff}$$

**Definición del desempleo calificado de los hogares**

E81(IHOG).. PEAC(IHOG)\*(1-DESEMP(IHOG))=E=TCH(IHOG);

$$peac_{ihog} \cdot (1 - desempc_{ihog}) = tch_{ihog}$$

**E82 equilibrio mercado de trabajo no calificado informal**

E82(IHOG).. PEANI(IHOG)=E=TNCIH(IHOG);

$$peani_{ihog} = tncih_{ihog}$$

**E90 determinación exógena de PEANF**

E90(IHOG).. PEANF(IHOG)=E=PEANFX(IHOG);

$$peanf_{ihog} = peanf_{xihog}$$

**E91 determinación exógena de PEANI**

E91(IHOG).. PEANI(IHOG)=E=PEANIX(IHOG);

$$peani_{ihog} = peanix_{ihog}$$

**E92 determinación exógena de PEAN**

E92(IHOG).. PEAN(IHOG)=E=PEANX(IHOG);

$$pean_{ihog} = peanx_{ihog}$$

**E93 determinación exógena de PEAC**

E93(IHOG).. PEAC(IHOG)=E=PEACX(IHOG);

$$peac_{ihog} = peacx_{ihog}$$

**E94 determinación exógena de PEAN**

E94(IHOG).. PEAN(IHOG)=E=PEANF(IHOG)+PEANI(IHOG);

$$pean_{ihog} = peanf_{ihog} + peani_{ihog}$$

**E100 función objetivo**

E100.. OMEGA=E=SUM(II,PVA(II)\*VA(II));

$$\Omega = \sum_{ii} pva_{ii} \cdot va_{ii}$$



Esta investigación tiene como principal objetivo analizar el impacto de la política pública en materia de bioeconomía en el desarrollo económico y social en Colombia. El trabajo introduce los conceptos fundamentales de la bioeconomía desde su propia de iniciación hasta sus antecedentes a nivel nacional e internacional y repasa el desarrollo de la bioeconomía y la política de crecimiento verde en Colombia. Luego de estudiar los sectores priorizadas para el desarrollo de la bioeconomía en Colombia se analiza por medio de un modelo de equilibrio general el impacto de determinadas políticas públicas en el desarrollo económico y social, analizando tanto los efectos agregados sobre la producción como sus implicaciones sobre la distribución de la renta.