

PENSAMIENTOS DEL AGRO



FOCOS DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN PARA EL SECTOR AGROPECUARIO COLOMBIANO

SERIE DE DOCUMENTOS DE TRABAJO

PENSAMIENTOS DEL AGRO



FOCOS DE CIENCIA, TECNOLOGÍA
E INNOVACIÓN PARA EL SECTOR
AGROPECUARIO
COLOMBIANO

SERIE DE DOCUMENTOS DE TRABAJO

La elaboración de este documento fue coordinada por el Observatorio de Ciencia, Tecnología e Innovación del sector agropecuario colombiano – OCTIAGRO, con la supervisión de Claudia Patricia Uribe Galvis, jefe del Departamento de Articulación institucional (DAI) de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA)

Sede Central. Kilómetro 14 vía Mosquera-Bogotá, Mosquera, Cundinamarca. Código postal 250047, Colombia.

Citación sugerida: Ovalle Másmela, J., Romero-Perdomo, F., Ramírez-Beltrán, A. M., Moreno-Valderrama M. N., Jiménez-Guzmán A. M., Castillo-Galindo N. T., Santana-Medina J. J., Molano-Bernal L. C., Zambrano Muñoz A. P., Garavito-Arcos H. C., Yepes-Vargas L. A., Zambrano Muñoz A. P., Perdomo-Villamil Y. L., Salazar Alonso F. A., Rincón Novoa R., García González D. M., & Uribe Galvis, C. (2023). *Focos de ciencia, tecnología e innovación para el sector agropecuario colombiano*. Observatorio de Ciencia, Tecnología e Innovación del sector agropecuario colombiano (OCTIAGRO). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

DOI:

<https://doi.org/10.21930/agrosavia.institucional384>

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones e información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, y declaran, en este último supuesto, que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación. Igualmente, declaran que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa y penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros relativa a los derechos de autor u otros derechos que se hubieran vulnerado como resultado de su contribución.

Línea de atención al cliente: 018000121515

atencionalcliente@AGROSAVIA.co

<http://www.AGROSAVIA.co>



https://co.creativecommons.org/?page_id=13

Contenido

1 Autores

Pág. 7

2 Introducción

Pág. 13







3 Análisis de Contexto

Pág. 17

Marco político y normativo	Pág. 19
Institucionalidad	Pág. 31
Tendencias	Pág. 39
Agenda I+D+i	Pág. 53

4 Aspectos relevantes de los Focos de Ciencia, Tecnología e Innovación Agropecuaria

Pág. 58

 Agroindustria 4.0	Pág. 60
 Agrologística	Pág. 71
 Bioeconomía	Pág. 79
 Sanidad, fitosanidad e inocuidad	Pág. 88
 Seguridad alimentaria y nutricional	Pág. 94
 Sostenibilidad ambiental, agroecología, variabilidad y cambio climático	Pág. 98

5 Propuestas de estrategias y líneas de acción para cada foco

Pág. 102

6 Referencias

Pág. 113



Tablas

Tabla 1.	Contexto político y normativo del foco agroindustria 4.0	Pág. 20
Tabla 2.	Ejes y estrategias del Plan Nacional de Agrologística 2021	Pág. 22
Tabla 3.	Políticas sanitarias y de inocuidad en Colombia	Pág. 25
Tabla 4.	Políticas y normas relacionadas con sostenibilidad ambiental, agroecología y cambio climático	Pág. 26
Tabla 5.	Acciones de las bases del PND 2022 -2026 relacionadas con sostenibilidad ambiental, agroecología, variabilidad y cambio climático	Pág. 30
Tabla 6.	Iniciativas relacionadas con agroindustria 4.0 de entidades del país	Pág. 31
Tabla 7.	Entidades que desempeñan roles en áreas de la Misión de Bioeconomía	Pág. 34
Tabla 8.	Países líderes en el mundo y LAC, 2016-2021	Pág. 51
Tabla 9.	Retos y oportunidades en materia de agroindustria 4.0	Pág. 69
Tabla 10.	Perfil de infraestructura, transporte y logística de Colombia	Pág. 72
Tabla 11.	Temas relacionados con bioeconomía abordados por las universidades del Global Bioeconomy Alliance	Pág. 80
Tabla 12.	Estrategias de la política de bioeconomía a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	Pág. 81
Tabla 13.	Metas propuestas por la Misión Internacional de Sabios 2019	Pág. 83
Tabla 14.	Metas clave para la bioeconomía al año 2030-2050 en Colombia	Pág. 87
Tabla 15.	Estrategias y líneas de acción propuestas en seguridad alimentaria y nutricional	Pág. 103
Tabla 16.	Estrategias y líneas de acción propuestas en sanidad, fitosanidad e inocuidad	Pág. 105
Tabla 17.	Estrategias y líneas de acción propuestas en Agrologística	Pág. 107
Tabla 18.	Estrategias y líneas de acción propuestas en Bioeconomía	Pág. 108
Tabla 19.	Estrategias y líneas de acción propuestas en sostenibilidad ambiental, agroecología, variabilidad ambiental y cambio climático	Pág. 109



Figuras

Figura 1.	Focos de Ciencia, Tecnología e Innovación	Pág. 15
Figura 2.	Abordaje del documento a partir del análisis de contexto	Pág. 18
Figura 3.	Actores del Sistema de Sanidad, Fitosanitario y de Inocuidad en Colombia	Pág. 35
Figura 4.	Actores del Sistema Nacional Ambiental (SINA)	Pág. 37
Figura 5.	Análisis bibliométrico relacionado con agroindustria 4.0	Pág. 40
Figura 6.	Principales tendencias y perspectivas de la seguridad alimentaria	Pág. 49
Figura 7.	Publicaciones científicas relacionadas con sostenibilidad ambiental, agroecología y cambio climático	Pág. 51
Figura 8.	Retos para la agroindustria 4.0	Pág. 67
Figura 9.	Cadena de transporte y cadena logística	Pág. 73
Figura 10.	Proceso logístico	Pág. 74
Figura 11.	Áreas estratégicas y productos y procesos propuestos por la Misión de bioeconomía para Colombia	Pág. 85
Figura 12.	Intervenciones generales para cada dimensión de la seguridad alimentaria	Pág. 97





Autores

Fotografía: Armenia, Colombia / Alfredo Maiquez / www.shutterstock.com



Juan Camilo Ovalle

Correo:
jovallem@agrosavia.co

Orcid:
0000-0002-7024-0849

Profesional de planeación y cooperación institucional de AGROSAVIA. Bacteriólogo con énfasis en microbiología ambiental, estudios en gerencia de calidad de laboratorios en la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca y Magíster en Administración Pública de la Escuela Superior de Administración Pública-ESAP. Cuenta con experiencia en investigación básica y aplicada en biotecnología asociada con sistemas de producción ganadera. Actualmente trabaja en temáticas vinculadas con la gestión de conocimiento y gestión de información de ciencia, tecnología e innovación sectorial y extensión agropecuaria con las plataformas de soporte al SNIA Siembra, Linkata y BAC.

Felipe Romero Perdomo

Correo:
fromerop@agrosavia.co

Orcid:
0000-0002-4277-1925

Máster en proyectos de desarrollo sostenible de la Universidad EAN y Microbiólogo Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana, que se desempeña en el Departamento de Articulación Institucional de AGROSAVIA. Tiene más de 10 años de experiencia en investigación, transferencia de tecnología y gestión de proyectos en bioeconomía y sostenibilidad para instituciones privadas, públicas y sin fines de lucro. Es apasionado por el nexo ciencia-tecnología-innovación, la bioprospección de la biodiversidad, los Objetivos de Desarrollo Sostenible, la economía circular, las bioindustrias, la seguridad alimentaria y el cambio climático. Actualmente apoya iniciativas interdisciplinarias de impacto nacional del Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA) y del Observatorio de Ciencia, Tecnología e Innovación del sector agropecuario colombiano (OCTIAGRO).

Claudia Patricia Uribe Galvis

Correo:
curibe@agrosavia.co;
uribegalvis@gmail.com

Orcid:
0000-0001-8689-2860

Zootecnista de la Universidad Nacional de Colombia y Magíster En Desarrollo Rural de la Pontificia Universidad Javeriana. Tiene experiencia en formulación, seguimiento y evaluación de políticas públicas sectoriales de ciencia, tecnología e innovación. Es especialista en estudios prospectivos y análisis estratégicos. Actualmente se desempeña como jefe del Departamento de Articulación Institucional de la Dirección de Planeación de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), desde donde se coordina el soporte de AGROSAVIA al Sistema Nacional de Innovación, los sistemas de información en CTI para el sector agropecuario y el Observatorio de CTI para el sector agropecuario colombiano.



Ana María Jiménez Guzmán

Correo:
amjimenez@agrosavia.co

Orcid:
0000-0002-5417-0449

Magíster en innovación de la Universidad EAN de Colombia, magíster en administración de empresas con énfasis en empresas de desarrollo tecnológico de la Universidad Antonio Nebrija de España, especialista en gerencia integral de calidad de la Universidad Sergio Arboleda de Colombia e ingeniera química de la Universidad América, de Colombia. También es consultora en calidad y producción en la Empresa de Licores de Cundinamarca y en el Fondo de Desarrollo de Proyectos de Cundinamarca. Se encuentra vinculada desde 2016 a AGROSAVIA, donde inició su cargo como profesional de apoyo a la investigación del Departamento de Bioproductos. Actualmente se desempeña como profesional de planeación y cooperación institucional en el Departamento de Articulación Institucional y hace parte del Observatorio de Ciencia, Tecnología e Innovación del sector agropecuario colombiano (OCTIAGRO). Es docente y conferencista de innovación, creatividad y emprendimiento.

Lilia Constanza Molano Bernal

Correo:
lcmolano@agrosavia.co

Orcid:
0000-0002-8016-6195

Profesional de planeación y cooperación Institucional en la Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria-Agrosavia, con maestría en Cultura Científica y de la Innovación por la Universidad Politécnica de Valencia. Doctoranda en Estudios Sociales de la Universidad Externado de Colombia. Tiene experiencia en la gestión del conocimiento, en la metodología análisis de redes sociales y uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en procesos de extensión agropecuaria. Así también, en la gestión de redes sociales como Linkata comunidad de Asistentes Técnicos y Extensionistas de Colombia. Es miembro del grupo de investigación Cambios sociotécnicos para el desarrollo de la innovación en el sector agropecuario.

Jairo Javier Santana Medina

Correo:
jsantana@agrosavia.co

Orcid:
0000-0003-0140-7825

Ingeniero agrícola de la Universidad Nacional de Colombia, especialista en big data, pmo, inteligencia competitiva, diseño y construcción de elementos de máquinas. Magister en ingeniería agrícola de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Su experiencia se ha centrado en vinculación de tecnología para el sector agropecuario, análisis de tendencias y estudios relacionados para el diagnóstico de políticas nacionales. Asimismo, se ha encaminado a formular y ejecutar proyectos de ciencia, tecnología e innovación, jóvenes rurales y políticas nacionales. Actualmente se desempeña como profesional de planeación y cooperación, del Departamento de Articulación Institucional de la Dirección de Planeación y Cooperación Institucional de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).



Adriana Del Pilar Zambrano

Correo:
azambrano@agrosavia.co

Orcid:
0000-0003-4295-4542

Profesional en ciencias de la información-bibliotecología de la Pontificia Universidad Javeriana, con experiencia en asesoría y capacitación a investigadores en el acceso y uso de herramientas y recursos de investigación, análisis e interpretación de datos. Identifica las necesidades actuales y futuras de los investigadores con el fin de orientar nuevos proyectos o iniciativas de investigación, así como procesos de divulgación de resultados que visibilicen su producción.

María Nancy Moreno Valderrama

Correo:
mvalderrama@agrosavia.co

Orcid:
0009-0008-1566-1625

Ingeniera agrónoma con grado de licenciatura en ciencias agropecuarias y recursos naturales de la Universidad EARTH, magíster en dirección y administración de empresas de la EUDE Business School. Trabajó durante cuatro años en el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural en el marco del Proyecto de Transición de la Agricultura en alianza con el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF). Desde el año 2011 está vinculada al Departamento de Articulación Institucional de la Dirección de Planeación y Cooperación Institucional de AGROSAVIA. Tiene experiencia en la coordinación, formulación, ejecución e interventoría técnica y financiera de proyectos de I+D+i del sector agropecuario, en el diseño y puesta en marcha de instrumentos de planificación estratégica sectorial, en la elaboración de estudios de ciencia, tecnología e innovación y del contexto sectorial, y en el relacionamiento articulado con actores e instancias del nivel departamental y nacional.

Luz Andrea Yepes Vargas

Correo:
layepes@agrosavia.co

Orcid:
0000-0002-8039-1384

Zootecnista egresada de la Universidad Nacional de Colombia con magíster en agronegocios de la Universidad de La Salle. Trabaja desde hace 12 años en AGROSAVIA, donde ha desempeñado actividades relacionadas con la construcción y actualización de la agenda nacional de ciencia, tecnología e innovación del sector agropecuario, como el apoyo en la construcción de metodologías, la coordinación y ejecución de talleres participativos, el levantamiento, consolidación y análisis de información, la construcción y gestión de contenidos de la plataforma Siembra, el análisis de acciones corporativas para el balance social y la participación en la generación de documentos y metodologías para el SNIA.



Yehismi Lorena Perdomo Villamil

Correo:
yperdomo@agrosavia.co

Orcid:
0000-0002-8039-1384

Profesional en sistemas de información y documentación, bibliotecología y archivística de la Universidad de La Salle, magíster en gerencia estratégica en tecnologías de la información en la Universidad Externado de Colombia, con experiencia profesional enfocada en bibliotecas como la Biblioteca Agropecuaria de Colombia (BAC), de AGROSAVIA, en la que ha dirigido las áreas de desarrollo de colecciones y procesos técnicos. Actualmente se desempeña como líder de la BAC, donde se planean, organizan, dirigen y controlan las actividades orientadas a facilitar la información pertinente y actualizada a los actores del Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA).

Diana Maritza García González

Profesional en Ciencias de la Información, Bibliotecología y Archivística de la Universidad del Quindío, con experiencia en descripción y análisis de material bibliográfico, gestión, control y mantenimiento de colecciones físicas, electrónicas y digitales mediante el uso y disposición de herramientas que faciliten la recuperación, análisis e interpretación de datos, gestión en la adquisición y selección de publicaciones de acuerdo a las necesidades de los usuarios. Actualmente trabaja en temáticas vinculadas con la Gestión de Conocimiento y gestión de información de Ciencia, tecnología e Innovación con las plataformas de la Biblioteca Agropecuaria de Colombia para la gestión, conservación y mantenimiento de las mismas.

Rubiela Rincón Novoa

Correo:
rrincon@agrosavia.co

Orcid:
0000-0002-2051-3941

Médica veterinaria zootecnista de la Universidad de los Llanos, especialista de la Universidad Nacional de Colombia y magíster de la Pontificia Universidad Javeriana en desarrollo rural. Trabajó en el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y en el Banco Mundial en el Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria (Pronatta) en la región Orinoquía, en la Unidad de Parques Nacionales Naturales de Colombia y en el Instituto Colombiano de Desarrollo Rural. Desde el año 2011 se encuentra vinculada al Departamento de Articulación Institucional de AGROSAVIA, sede central. Esta trayectoria ha contribuido al desarrollo de sus capacidades y de su experiencia en temáticas sobre formulación, seguimiento y evaluación de proyectos de desarrollo tecnológico y fortalecimiento institucional, trabajo interinstitucional y en red para el acceso a instrumentos de política sectorial, y ordenamiento social y productivo, así como para prestar apoyo al PECTIA y la Agenda I+D+i que lo integra, al balance social, a la metodología Territorios innovadores y socio ecológicamente resilientes (Tisere) y a temas relacionados con la extensión agropecuaria, entre otros. Pertenece a la Red Nacional de Extensión Rural (Rener).



Angélica María Ramírez Beltrán

Correo:
amramirez@agrosavia.co

MBA de la Universidad de los Andes e ingeniera agroindustrial de la Universidad Nacional de Colombia. Cuenta con más de diez años de experiencia en coordinación, gestión, formulación, monitoreo y evaluación de políticas, programas y proyectos de desarrollo y fomento. Es experta en procesos de adquisición, manejo de presupuesto, seguimiento, evaluación y rendición de cuentas. Ha sido asesora en temas de competitividad, ciencia, tecnología e innovación y es experta en procesos de planificación, análisis de coyuntura, así como en asistencia técnica agropecuaria, transferencia y desarrollo de emprendimientos productivos en zonas de conflicto. En la actualidad participa como socia fundadora de la Fundación Impacta, organización de desarrollo para la transformación social, y se encuentra vinculada a AGROSAVIA como profesional de la Dirección de Planeación y Cooperación Institucional. También es miembro del Observatorio de Ciencia, Tecnología e Innovación del sector agropecuario colombiano (OCTIAGRO), donde trabaja en torno a temas como planeación estratégica y relación interinstitucional en instancias del sistema de competitividad, ciencia, tecnología e innovación del sistema de la reforma agraria y rural, en lineamientos de política pública y levantamiento de indicadores de ciencia, tecnología e innovación, en particular de los relacionados con inversión pública agropecuaria.

Heydi Carolina Garavito Arcos

Correo:
hgaravito@agrosavia.co

Orcid:
0000-0002-8039-1384

Médica Veterinaria egresada de la Universidad de La Salle y Magíster en Administración de Empresas con especialidad en Dirección de Proyectos de la Universidad Viña del Mar de Chile. Trabaja desde hace 9 años en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) donde ha desempeñado actividades relacionadas con la construcción y actualización de la Agenda Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación del sector agropecuario como lo son el acompañamiento en construcción de metodologías, coordinación y ejecución de talleres participativos y levantamiento, consolidación y análisis de información; la gestión de contenidos para la plataforma Siembra (www.siembra.gov.co); el análisis de acciones corporativas para el Balance Social; el apoyo a la generación de política pública del sector; y la participación en la generación de herramientas, documentos de análisis y metodologías para el Sistema Nacional Innovación Agropecuaria – SNIA.



2

Introducción

Fotografía: piya Sukchit / www.shutterstock.com



El desarrollo del sector agropecuario emerge como un motor fundamental para erradicar la pobreza extrema. El crecimiento sostenido de la agricultura no solo fomenta la seguridad alimentaria, sino que también presenta la oportunidad de elevar los ingresos de los productores. Es crucial destacar que el 38 % de la superficie del planeta se destina a actividades agrícolas, de las cuales un tercio son tierras cultivables, mientras que los dos tercios restantes se utilizan para pastizales y praderas destinados al pastoreo. En este contexto, la innovación y la sostenibilidad emergen como pilares esenciales para el futuro del sector agropecuario (Banco Mundial, 2020).

En el contexto de las tendencias y transformaciones globales, el sector agropecuario colombiano se encuentra ante desafíos y oportunidades que demandan un impulso significativo en ciencia, tecnología e innovación (CTI). Estas tendencias son identificadas como Focos de Ciencia Tecnología e Innovación, que dan respuesta a las necesidades señaladas por los actores en la definición de la Agenda Dinámica Nacional de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación Agropecuaria (Agenda I+D+i), y que hacen parte integral del Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del sector agropecuario colombiano (PECTIA).

Estas áreas del conocimiento se perfilan como cruciales para abordar los retos y capitalizar las oportunidades presentes. El fortalecimiento de la gestión

del conocimiento, orientada por estas tendencias, se erige como base para que los diversos actores del Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA) diseñen estrategias y herramientas que respondan a las demandas específicas del sector. En este escenario, la colaboración y la convergencia de esfuerzos se presentan como elementos clave para el avance efectivo en el desarrollo agropecuario colombiano.

Es así como en la CTI se apoya la toma de decisiones gubernamentales para enfrentar las dinámicas actuales, las necesidades y los retos del sector agropecuario (González et al., 2023). Ante esta situación, en Colombia se cuenta con los seis focos fundamentales que propone el PECTIA, derivados de la definición de Programas de I+D+i para atender las demandas de los sectores productivos y departamentales en la actualización del PECTIA y que orientan la política y las estrategias para el desarrollo del sector. Los focos son: i) agroindustria 4.0; ii) agrologística; iii) bioeconomía; iv) sanidad, fitosanidad e inocuidad; v) seguridad alimentaria y nutricional; y vi) sostenibilidad ambiental, agroecología, variabilidad y cambio climático (Figura 1). Cada uno de los focos busca no solo abordar problemáticas del país, sino también posicionar a Colombia como referente en la I+D+i agropecuaria (Suárez, 2020). Es importante establecer que dichos focos pueden variar con el tiempo en función de las condiciones sociales, políticas, económicas, tecnológicas y ambientales de cada país.



Figura 1. Focos de Ciencia, Tecnología e Innovación

Elaboración propia.



Agroindustria



Agrologística



Bioeconomía



**Sanidad, fitosanidad
e inocuidad**



**Seguridad alimentaria
y nutricional**



**Sostenibilidad ambiental,
agroecología, variabilidad
y cambio climático**

En relación con el primer foco, la agroindustria 4.0 impulsa la aplicación de tecnologías de la Cuarta Revolución Industrial en el sector agrícola. Incluye la integración de tecnologías avanzadas como el internet, la inteligencia artificial, la robótica, la analítica de datos, la nanotecnología, la biotecnología, entre otras (Yadav et al., 2022). Su relevancia y beneficios potenciales consisten en mejorar la automatización de procesos, la optimización de recursos, la productividad, la sostenibilidad ambiental, la calidad del producto y el acceso a la información en el sector. La CTI desempeñan un papel fundamental en su desarrollo y aplicación efectiva (Ovalle et al., 2023).

La agrologística, como segundo foco, se erige como el corazón eficiente de la cadena de suministro agrícola. Involucra la planificación, ejecución y control de flujos de productos agrícolas desde la producción hasta el consumidor final, incluyendo procesos como la recolección, almacenamiento, transporte y distri-

bución (Rodríguez et al., 2023). Esta disciplina busca optimizar la logística para garantizar la calidad de los productos, reducir costos y minimizar desperdicios en toda la cadena. La CTI aporta a la modernización y mejora de la agrologística, permitiendo una gestión más inteligente, eficiente y sostenible de la cadena de suministro agrícola (Bueno et al., 2022).

La bioeconomía se establece como tercer foco sobre el cual se presta atención para la generación de políticas y estrategias en el marco de la CTI agropecuaria. Se refiere a la producción, utilización y gestión sostenible de recursos biológicos como cultivos, bosques, productos pesqueros y residuos orgánicos, con el objetivo de proporcionar bienes, servicios y energía (Aguilar et al., 2019). Este enfoque busca integrar de manera sostenible la agricultura, la silvicultura, la pesca y otras actividades basadas en recursos biológicos en la economía general. La bioeconomía como modelo de desarrollo ha sido



difundida y adoptada en varios países (Vogelpohl y Töller, 2021). Su potencial radica principalmente en la promoción de la sostenibilidad, la diversificación de la economía, la reducción de dependencia de recursos no renovables, la creación de empleo y la mitigación del cambio climático (Vargas et al 2023).

Por otra parte, el sector agroalimentario mundial se ha enfrentado a los efectos de la diseminación de enfermedades transmitidas por alimentos y la falta de calidad e inocuidad en los productos agropecuarios. A nivel mundial se están realizando varios esfuerzos enfocados en garantizar la sanidad animal y vegetal para disminuir riesgos en la salud pública y favorecer el comercio internacional (Rizzo et al., 2021). En este sentido, el PECTIA propone incorporar un cuarto foco denominado sanidad, fitosanidad e inocuidad, que, si bien está relacionado con el capítulo de seguridad alimentaria y nutricional, también representa retos diferentes para garantizar la calidad en los productos agropecuarios, la apertura a nuevos mercados y la investigación requerida para ello (AGROSAVIA, 2021).

Por supuesto, la seguridad alimentaria se posiciona como un quinto foco inaplazable. Según cifras de la FAO, entre 720 y 811 millones de personas enfrentaron hambre en 2020, cifra que viene creciendo en regiones de África, América Latina y Asia occidental (FAO, 2020). En el caso de Colombia, se tiene un alto grado de autosuficiencia alimentaria reflejado en una producción aproximada de 62,7 millones de toneladas de alimentos al año, de los cuales aproximadamente el 81,3 % son consumidos internamente. A pesar de que el nivel de dependencia de otros países para alimentar a la población colombiana es bajo, el país sigue afrontando factores de riesgo relacionados con inseguridad alimentaria, tales como la movilidad y los efectos de la pandemia por coronavirus, la oferta de agroinsumos y material genético, las restricciones al comercio internacional de alimentos y la dependencia de insumos importados para la producción (Bozsik et al., 2022).

La sostenibilidad ambiental, agroecología, variabilidad y cambio climático figura como el sexto foco, que integra varios conceptos y problemáticas que requieren de una respuesta inmediata y certera. En conjunto, dicha sostenibilidad se enmarca en un ámbito interdisciplinario con el fin de contribuir a la transformación productiva a través de la aplicación de principios ecológicos en la agricultura y en el uso regenerativo de los servicios ecosistémicos, incluyendo visiones desde los ámbitos político, económico, socio-cultural, tecnológico y ecológico (AGROSAVIA, 2021). El reconocimiento de la importancia de la agroecología en la sostenibilidad ambiental y el cambio climático abre un espacio a las innovaciones que se diferencian de las dadas en muchos otros sectores, y que marcan un derrotero en el rol que juegan las instituciones generadoras de conocimiento (Quintero et al., 2023).

Con el propósito de difundir y apoyar el análisis sectorial de las demandas de los departamentos de Colombia frente al PECTIA, el presente documento realiza un análisis de contexto desde un marco político, normativo e institucional, que recurre a tendencias de investigación y agenda I+D+i, en el que se incluye información de cada uno de los seis focos. Posterior al análisis de contexto se hace un breve recorrido por los aspectos más relevantes de cada foco, contemplando e identificando limitantes y oportunidades para el sector agropecuario nacional.





3

Análisis de Contexto

Fotografía: Luis Echeverri Urrea / www.shutterstock.com



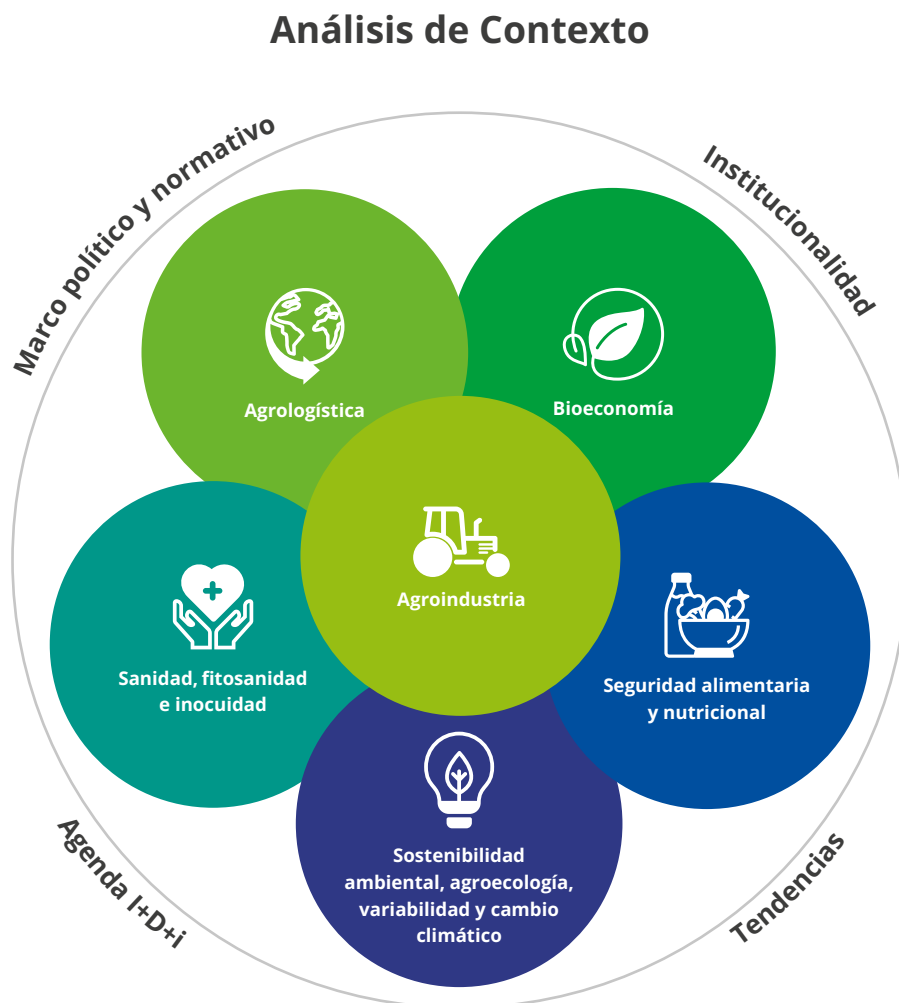
En el contexto del sector agropecuario colombiano, este análisis busca guiar a los diversos actores del SNIA, incluyendo investigadores, responsables de decisiones sectoriales, empresarios del sector privado y funcionarios gubernamentales. En un escenario donde la seguridad alimentaria y la sostenibilidad se cruzan con las presiones del cambio climático y la necesidad de optimización logística, la CTI se presenta como elemento clave para el desarrollo y la competitividad sectorial. El análisis aborda el marco político, la institucionalidad, las tendencias

en investigación y la agenda I+D+i de cada uno de los enfoques de Ciencia, Tecnología e Innovación Agropecuaria (CTI) (Figura 2).

Este apartado no solo ofrece una exposición teórica, sino que también insta a la acción colaborativa al presentar los instrumentos disponibles en cada uno de los elementos de análisis. El objetivo es evidenciar el panorama nacional de cada foco, permitiendo que los diferentes actores se sumerjan en este análisis técnico y contribuyan al diálogo que dará forma al futuro de la agricultura y la ganadería en Colombia.

Figura 2. Abordaje del documento a partir del análisis de contexto

Elaboración propia.





Marco político y normativo

En relación con lo normativo y político, cada uno de los focos cuenta con su propia aproximación. No obstante, no todos cuentan con un marco normativo establecido y detallado. En el caso de la agroindustria 4.0, y de acuerdo con la normatividad colombiana, aún no se relacionan temas especí-

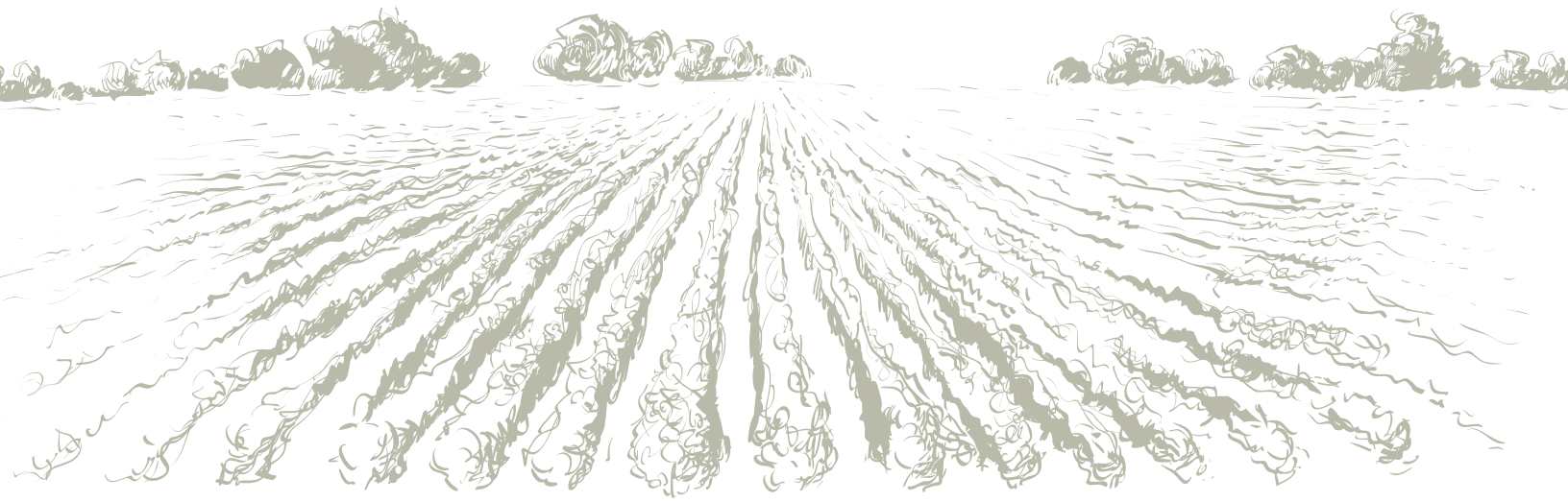
ficos con esta temática; sin embargo, dentro del concepto de agroindustria se relacionan algunos como la legislación, en la cual se menciona la inmersión de las tecnologías 4.0 en el sector agropecuario. A continuación, en la Tabla 1, se presentan algunas normas relacionadas.



**Tabla 1.** Contexto político y normativo del foco agroindustria 4.0

Elaboración propia.

Norma	Objetivo
Ley 9 de 1979	Por la cual se dictan medidas sanitarias.
Ley 607 de 2000	Introduce modificaciones a la creación, funcionamiento y operación de las Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria (UMATA). Además, reglamenta la asistencia técnica directa rural en sintonía con el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología.
Ley 1286 de 2009	Modifica la Ley 29 de 1990. Transforma a Colciencias en un Departamento Administrativo y fortalece el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación en Colombia. Además, establece otras disposiciones relacionadas con el ámbito científico, tecnológico e innovador en el país.
Artículo 6 de la Ley 1341 de 2009	Impulsa la neutralidad tecnológica y armoniza la adopción tecnológica con el desarrollo ambiental sostenible en Colombia. Esta normativa garantiza la libre adopción de tecnologías, considerando recomendaciones, conceptos y normativas de organismos internacionales competentes en la materia. Su propósito es fomentar la eficiente prestación de servicios, contenidos y aplicaciones que utilizan tecnologías de la información y las comunicaciones, así como asegurar la libre y leal competencia.
Ley 1776 de 2016	Crea y desarrolla las Zonas de Interés de Desarrollo Rural, Económico y Social (ZIDRES).
Ley 1876 de 2017	Crea el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA) y se dictan otras disposiciones.
Ley 1951 de 2019	Crea MinCiencias y fortalece el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación y se dictan otras disposiciones.
Artículo 172 de la Ley 1955 de 2019	Establece que el Sistema Nacional de Competitividad e Innovación tiene la responsabilidad de coordinar y orientar las actividades de instancias públicas, privadas y académicas vinculadas con la formulación, implementación y seguimiento de políticas destinadas a promover la competitividad e innovación del país. Esto se realiza bajo una perspectiva de mediano y largo plazo.
Ley 1978 de 2019	Impulsa la modernización del sector de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), distribuyendo competencias y creando un regulador único.



En el foco de la Agrologística en Colombia, es relevante destacar que desde 2006 se ha venido estructurando el marco regulatorio, liderado por el CONPES 3439 y el Decreto 2828, que establecen principios rectores para la competitividad y productividad. Posteriormente, el CONPES 3547 en 2008 definió estrategias para el Sistema Logístico Nacional, y en 2020 se actualizó la Política Nacional Logística (PNL) mediante el CONPES 3982, centrándose en la intermodalidad y facilitación del comercio (2020).

La Misión de Logística y Comercio Exterior reveló la necesidad de revisar la PNL. En los elementos añadidos durante la actualización de la PNL, destaca la sugerencia de solicitar al MADR la creación de un “plan agrologístico” que contemple estrategias para impulsar servicios logísticos de valor en las cadenas agrícolas y agropecuarias (DNP, 2020), el cual estaba en espera de sancionarse para finales del año 2021. Entre los compromisos de la PNL se encuentran la definición de un plan agrologístico, delimitado a procesos logísticos en las etapas de producción, recolección, acopio, alistamiento, almacenamiento, transporte, distribución y consumo, con énfasis en acciones de primera milla.

El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) inició en 2019 la construcción del Plan Nacional

de Agrologística (PNA), que va más allá de los objetivos de la PNL al integrar políticas productivas y de desarrollo de mercados. El PNA identificó perfiles logísticos de cadenas agropecuarias, abordando cuatro grupos de observación: i) cadenas de suministro para exportación: frutas (aguacate, banano, plátano, pasifloras, uchuva, otras), flores y café; ii) cadenas de suministro de materia prima para la industria: cacao, cereales para la industria molinera, panela y forestales; iii) cadenas de provisión de productos pecuarios: cárnicos (cadena bovina, porcícola y avícola), lácteos (cadena bovina) y acuícolas; y iv) cadenas básicas agrícolas de alimentos perecederos: hortofrutícolas de consumo interno (énfasis en modernización de sistemas logísticos para mercados especializados). La visión del PNA busca posicionar a Colombia como modelo en logística agropecuaria en América Latina, promoviendo eficiencia, generación de valor, sostenibilidad y competitividad sectorial (MADR, 2020).

En conclusión, el PNA tiene como meta fortalecer las condiciones y capacidades para los procesos logísticos en las cadenas agropecuarias, proponiendo 4 ejes, 11 estrategias, 27 líneas de trabajo y 53 actividades, buscando una logística agropecuaria eficiente y sostenible en Colombia. En la Tabla 2 se detallan los ejes y estrategias de este plan (MADR, 2020).

**Tabla 2.** Ejes y estrategias del Plan Nacional de Agrologística 2021

Tomado de Castillo, Ramírez y Moreno (2022).

Eje estratégico	Estrategias
Fortalecimiento institucional	<p>FI 1. Fortalecer la capacidad institucional del sector para gestionar la atención de la dimensión logística.</p> <hr/> <p>FI 2. Promover la articulación de los actores de gobierno para mejorar los niveles de atención de la dimensión logística de las cadenas de suministro agropecuarias.</p>
Desarrollo de talento humano	<p>DTH 1. Fortalecer el desarrollo de competencias logísticas en los actores de las cadenas de suministro agropecuarias para optimizar el proceso de conexión con los mercados atendidos.</p> <hr/> <p>DTH 2. Impulsar nuevos modelos de negocios que dinamicen la eficiencia de los procesos logísticos en las cadenas agropecuarias.</p>
Infraestructura y servicios	<p>IS 1. Fortalecer la articulación con los actores del sector del transporte encargados de impulsar la inversión en infraestructura de conectividad rural.</p> <hr/> <p>IS 2. Promover la intermodalidad y la especialización de los servicios de transporte de carga para el sector agropecuario.</p> <hr/> <p>IS 3. Impulsar el desarrollo de infraestructura logística que promueva la agregación de valor en las cadenas de suministro de productos de origen agropecuario.</p> <hr/> <p>IS 4. Promover condiciones dinamizadoras de la demanda de servicios logísticos especializados en las cadenas de suministro de productos de origen agropecuario.</p>
Tecnología e información	<p>TI 1. Promover el acceso, uso y apropiación de la información base para la planeación agrologística a nivel nacional y territorial.</p> <hr/> <p>TI 2. Uso y apropiación de tecnologías de información para el fortalecimiento transversal de las capacidades agrologísticas en el país.</p> <hr/> <p>TI 3. Integrar la agrologística a las iniciativas de transformación digital de la institucionalidad relacionada.</p>



Al centrarse en la optimización del uso de la biomasa, el foco de bioeconomía se presenta como un enfoque integral que abarca políticas de CTI, diversificación productiva, crecimiento verde y estrategias frente al cambio climático (CEPAL, 2017).

En Colombia, diversas políticas influyen en áreas clave para la Misión de Bioeconomía. Por ejemplo, el CONPES 3527 de 2008 destaca la política para beneficio de los recursos genéticos y desarrollo de la biotecnología. Otro referente es el CONPES 3697 de 2011, que se enfoca en el desarrollo comercial de la biotecnología y avance en bioinsumos agrícolas.

La Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE) de 2012 promueve la gestión integral de la biodiversidad. Además, el CONPES 3934 de 2018 presenta la bioeconomía como componente vital del área de negocios verdes y sostenibles, contribuyendo al crecimiento sostenible a partir del capital natural. El reciente CONPES 4023 de 2021 destaca acciones en bioeconomía y propone la implementación de mecanismos especializados y proyectos estratégicos para impulsar la valorización de recursos renovables y la biodiversidad (DNP, 2021).

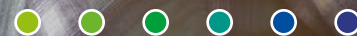
Este último CONPES, además de subrayar las iniciativas existentes como Colombia BIO, la Misión de Crecimiento Verde y la Estrategia Nacional de Economía Circular (Carvajalino et al., 2022), plantea líneas de acción específicas, como la implementación de un mecanismo especializado para el desarrollo y comercialización de productos y procesos en bioeconomía, respaldado por recursos del sector privado. También propone impulsar un Proyecto de Interés Nacional y Estratégico (PINE) en bioeconomía, buscando facilitar la inversión privada hacia la valorización de recursos renovables y biodiversidad, orientados al desarrollo de la bioeconomía en Colombia mediante la generación de productos y procesos de alto valor agregado (CONPES, 2021).

En el ámbito de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en el contexto de la bioeconomía se destacan políticas clave como el CONPES 3874 de

2016, que aborda la gestión integral de residuos sólidos como parte de la economía circular, y el CONPES 4004 de 2020, centrado en la economía circular en la gestión de servicios de agua potable y manejo de aguas residuales. En el sector de biomasa y química verde, se encuentran instrumentos como el CONPES 3055 de 1999 y el CONPES 3510 de 2008, que definen estrategias para la energización de zonas no interconectadas y lineamientos para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia, respectivamente. Además, existen regulaciones específicas para el impulso de la investigación en energías renovables, como la Ley 1715 de 2014, la Ley 1753 de 2015, las Resoluciones 1283 y 1312 de 2016, el Decreto 1543 de 2017 del Fondo de Energías No Convencionales y de Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE) y la Resolución upme 203 de 2020.

En el marco de la economía circular y la investigación científica sobre energías sostenibles, se destacan normativas como la Ley 1931 de 2018, que establece directrices para la gestión y promoción de líneas de investigación sobre cambio climático. También, el Plan Nacional de Desarrollo Colombia 2018–2022, conocido como el Pacto por Colombia, pacto por la Equidad (Ley 1955 de 2019), se erige como un compromiso hacia el equilibrio entre desarrollo productivo y conservación del ambiente, impulsando nuevas economías y asegurando recursos naturales para las generaciones futuras. Este plan tiene como foco la construcción de conocimiento en CTI para transformar la sociedad y el sector productivo colombiano (Gobierno de Colombia, 2019).

En el ámbito de la sanidad, fitosanidad e inocuidad, se evidencian directrices de política, como las establecidas en el Plan Nacional de Desarrollo 2018–2022 (Ley 1955 de 2019), que exige informes de avance al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) y al Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) sobre el fortalecimiento de sus competencias en estas áreas. Además, se destacan normativas como la Ley 170 de 1994, la Política Nacional de Sanidad



Fotografía: SKT Studio / www.shutterstock.com

Agropecuaria e Inocuidad de los Alimentos (CONPES 3375 de 2005) y el CONPES 113 de 2008, relacionado con la Política Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional (PSAN).

En el marco normativo, resaltan la Resolución 3593 de 2015 (modificada), que establece el mecanismo para el listado de plagas reglamentadas de Colombia, y la Resolución 3714 de 2015, que define las enfermedades de obligatoria declaración. Además, la Resolución 770 de 2014 proporciona directrices para los planes nacionales subsectoriales de vigilancia y control de residuos en alimentos. Se crearon también la Comisión Intersectorial de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias mediante el Decreto 2833 de 2006 y el Comité Nacional de Códex Alimentarius por el Decreto 977 de 1998.

Ante situaciones que afectan el estatus sanitario, fitosanitario y de inocuidad, las entidades competentes emiten normativas para estrategias de prevención, manejo o declaración de emergencia sanitaria, como en 2019 con la Resolución 11912 del ICA; que declaró el estado de emergencia fitosanitaria por la presencia de la marchitez de las musáceas por Foc R4T y las resoluciones semestrales del ICA para ciclos de vacunación de fiebre aftosa, que incluyen municipios de vacunación obligatoria. Estas medidas se implementan para combatir plagas y enfermedades como la Foc R4T, rabia, encefalitis equina venezolana, y Huanglongbing (HLB) de los cítricos, entre otras.

En cuanto a la seguridad alimentaria en Colombia, es esencial destacar la evolución del marco político y normativo que ha abordado este tema a lo largo de los años. Desde 1967, cuando se estableció la primera política nacional sobre alimentación y nutrición, el país ha experimentado cambios progresivos en su enfoque hacia la seguridad alimentaria. Tres planes fundamentales: CONPES 1260 en 1975, CONPES 2419 en 1989 y CONPES 2847 en 1996 se aprobaron para garantizar la seguridad alimentaria y nutricional, respondiendo a compromisos internacionales y a los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM).

En 2008, el CONPES 113 dio lugar a la formulación de la PSAN, reforzando los compromisos adquiridos en la “Cumbre Mundial sobre la Alimentación”. La PSAN se enmarcó en el manejo social del riesgo, orientando las acciones del Estado y la sociedad hacia la población más vulnerable mediante estrategias de prevención, promoción, mitigación y superación (Palma Vásquez, 2019). Aunque se recomendó la concertación del Plan Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional (psan) en seis meses, fue lanzado en 2013, abarcando el período 2012-2019 (Gobierno de Colombia, 2013). A la fecha, se desconocen sus resultados finales y no se cuenta oficialmente con un plan que lo reemplace.

Entre las normas vigentes se destaca la Ley de obesidad (Ley 1355 de 2009), en la que se promueven estrategias para una alimentación adecuada y saludable. Además, se define a la Comisión Intersectorial de



Seguridad Alimentaria y Nutricional (CISAN) como la máxima autoridad rectora de la seguridad alimentaria y nutricional en Colombia, la cual fue creada con el Decreto 2055 de 2009 (Presidencia de Colombia, 2009) y modificada con el Decreto 1115 de 2014 (Presidencia de Colombia, 2014). Asimismo, la Ley 811 de 2003 estableció las organizaciones de cadenas en el sector agropecuario con el objetivo de aumentar el valor agregado de los productos y garantizar ganancias equitativas para todos los actores de la cadena (Gobierno de Colombia, 2003).

Los Acuerdos de Paz de La Habana en 2016 y la Ley 1990 de 2019 para prevenir la pérdida y desperdicio de alimentos también resaltan la importancia de la seguridad alimentaria en Colombia (Castellanos, 2018). Durante la pandemia de 2020, se aprobaron decretos para asegurar el abastecimiento de alimentos

y se lanzó la Estrategia de Gestión Territorial para la Seguridad Alimentaria y Nutricional (Gobierno de Colombia, 2019). En 2021, el CONPES 4023 y decretos adicionales reforzaron las acciones para potenciar la seguridad alimentaria y nutricional en el país. Durante el mismo año, y en este mismo sentido, el Decreto 1834 creó la comisión intersectorial “Mesa de coordinación para el abastecimiento de productos agropecuarios y la seguridad alimentaria”.

Además del marco jurídico y de política pública, Colombia cuenta con la Resolución 464 de 2017, que establece lineamientos estratégicos para la agricultura campesina, familiar y comunitaria (MADR, 2017). Estas políticas se complementan con medidas dirigidas a mejorar el estatus sanitario, respaldadas por el Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES) y resumidas en la Tabla 3.

Tabla 3. Políticas sanitarias y de inocuidad en Colombia

Tomado de Ramírez, Moreno, Molano y Zambrano. (2021).

Política	Nombre
3376 de 2010	Política sanitaria y de inocuidad para las cadenas láctea y cárnica (consolidación).
3514 de 2008	Política nacional fitosanitaria y de inocuidad para la cadena de frutas y otros vegetales.
3468 de 2007	Política nacional de sanidad e inocuidad para la cadena avícola.
3458 de 2007	Política nacional de sanidad e inocuidad para la cadena porcícola.
3376 de 2005	Política nacional de sanidad e inocuidad para las cadenas de la carne bovina y de la leche.
3375 de 2005	Política nacional de seguridad agropecuaria e inocuidad de los alimentos para el sistema de medidas sanitarias y fitosanitarias.



En lo que respecta al actual gobierno, la visión sobre seguridad alimentaria y nutricional se centra en la soberanía y seguridad alimentaria como un consenso crucial para combatir el hambre, gestionar de manera sostenible la diversidad de agroecosistemas nacionales y garantizar el bienestar de las familias rurales. La propuesta gubernamental se orienta hacia un sistema agroalimentario basado en circuitos cortos de producción y consumo, buscando potenciar y modernizar las economías campesinas mediante la aplicación de tecnología y estrategias de mercado. El objetivo es satisfacer las necesidades nutricionales de los colombianos al llevar los alimentos directamente de la vereda a la mesa. Además, se promueve la creación de cinturones agroalimentarios en las ciudades, impulsando una agricultura campesina eficiente con criterios ambientales, fundamentada en la agroecología y la producción campesina agroalimentaria, y superando así el paradigma de la revolución verde DNP (2022).

En el ámbito de las políticas y normativas vinculadas a la sostenibilidad ambiental, agroecología, variabilidad y cambio climático en Colombia, se evidencian varios instrumentos desde el año 2017, como se detalla en la Tabla 4. Aunque se ha dado prioridad en los últimos años a la formulación de políticas públicas enfocadas en la sostenibilidad y el cambio climático, en la actualidad se destaca la importancia de otorgar espacio a la agroecología como una estrategia fundamental para abordar las mencionadas temáticas.

A nivel internacional, cabe resaltar la Resolución 72/239, que proclama el Decenio de las Naciones Unidas para la Agricultura Familiar (2019-2028), destacando la relevancia de los agricultores familiares en la erradicación del hambre y la seguridad alimentaria. Esta declaración subraya que la agricultura familiar es una opción destacada para lograr la sostenibilidad en las zonas rurales y contribuir al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (FAO, 2021).

Tabla 4. Políticas y normas relacionadas con sostenibilidad ambiental, agroecología y cambio climático

Tomado y modificado de Ramírez, Moreno, Jiménez y Castillo (2022).

Políticas y normas	Descripción	Sostenibilidad ambiental	Agroecología	Variabilidad y cambio climático
Ley 1876 de 2017	Crea el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria en Colombia (SNIA).	●	●	●
	(Congreso de la República de Colombia, 2017).	●	●	●
Ley 1844 de 2017	Ratifica el Acuerdo de París, reforzando la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza (MADS, 2017).			●






Políticas y normas	Descripción	Sostenibilidad ambiental	Agroecología	Variabilidad y cambio climático
Resolución 464 de 2017	Impulsa la adopción de los lineamientos estratégicos de política pública para la Agricultura Campesina, Familiar y Comunitaria (ACFC). En este contexto, la medida busca consolidar un marco normativo que respalde y fortalezca las actividades agrícolas desarrolladas por comunidades campesinas y familiares, reconociendo su importancia en la seguridad alimentaria y en la diversidad de los agroecosistemas nacionales (MADR, 2017).		●	
Política para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos - RAEE del 2017	Tiene como objetivo principal prevenir los impactos ambientales derivados de los aparatos eléctricos mediante una gestión ambiental apropiada. La iniciativa apunta a ampliar la permanencia de estos dispositivos, promoviendo prácticas que contribuyan activamente a la economía circular (MADS, 2017).	●		
Política Nacional de Cambio Climático del 2017	Constituye un marco integral que integra la gestión del cambio climático en las decisiones tanto públicas como privadas. Su propósito fundamental es orientar el desarrollo del país hacia una senda que sea resiliente al clima y baja en carbono (MADS, 2017).			●
Documento CONPES 3918 del 2018	Representa una hoja de ruta integral que busca alinear el desarrollo del país con los 17 ODS, estableciendo indicadores y metas concretas para la toma de decisiones y la evaluación continua de los avances al 2030 (DNP, 2018).	●		●
Documento CONPES 3919 del 2018	Impulsa un cambio significativo en el sector de la construcción, promoviendo la sostenibilidad como un criterio central en todas las etapas del ciclo de vida de las edificaciones, y proponiendo medidas concretas para lograr este objetivo a través de ajustes normativos, mecanismos de seguimiento y la implementación de incentivos económicos. (DNP, 2018).	●		



Políticas y normas	Descripción	Sostenibilidad ambiental	Agroecología	Variabilidad y cambio climático
Documento Conpes 3934 del 2018	Propone una visión estratégica para impulsar el crecimiento verde en Colombia, basado en el uso sostenible del capital natural y la mejora de la eficiencia en la utilización de recursos en los procesos productivo (DNP, 2018).	●	●	
Ley 1931 de 2018	Cumple una función crucial al establecer directrices para la gestión del cambio climático en Colombia, con un enfoque especial en promover la investigación como herramienta fundamental para abordar los desafíos ambientales asociados al cambio climático (Gobierno de Colombia, 2018).		●	●
Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 – Ley 1955 de 2019	Establece dos pactos fundamentales: uno por la sostenibilidad, para conciliar el desarrollo y la conservación ambiental; y otro por la ciencia, la tecnología y la innovación, con el propósito de construir el conocimiento necesario para edificar una Colombia que se proyecte hacia un futuro más prometedor y sostenible (Gobierno de Colombia, 2019).	●	●	●
Ley 2046 de 2020	No solo busca facilitar la participación de pequeños productores en los mercados públicos de alimentos, sino que también promueve la conciencia y la adopción de prácticas agroecológicas y sostenibles, consolidando así un enfoque integral para el desarrollo del sector agropecuario (MADR, 2020).		●	
Resolución 1294 de 2021	Establece pautas específicas para el desarrollo de actividades agropecuarias en páramos y resalta la relevancia de un enfoque integrado que fomente el aprovechamiento responsable, la conservación y la sostenibilidad de los valiosos recursos naturales presentes en estos ecosistemas (MADS, 2021).	●		



Políticas y normas	Descripción	Sostenibilidad ambiental	Agroecología	Variabilidad y cambio climático
Resolución 000355 de 2021	Adopta el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático del Sector Agropecuario (PIGCCS) y representa un esfuerzo concertado para abordar la contribución del sector a la crisis climática, estableciendo un camino claro hacia prácticas agropecuarias más sostenibles y resilientes al cambio climático (MADR, 2021).			
Documento Conpes 4023 del 2021	Es la respuesta integral a la crisis desencadenada por la pandemia del COVID-19, con el propósito de impulsar la reactivación económica y el crecimiento sostenible. Dentro de sus objetivos, el tercero destaca la necesidad de reactivar el sector productivo hacia un crecimiento más robusto y sostenible (DNP, 2021).			
Resolución 00132 de 2022	Juega un papel fundamental al adoptar el Plan Nacional Integral de Asistencia, Técnica y Tecnológica, así como de impulso a la investigación. Este plan tiene como objetivo primordial fortalecer las capacidades productivas de la Economía Campesina Familiar y Comunitaria (ECFC). Para alcanzar este propósito, se enfoca en el desarrollo de proyectos productivos y en la estimulación de procesos de innovación tecnológica (MADR, 2022).			

Por otra parte, la propuesta de las bases del Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 “Colombia, potencia mundial de la vida”, plantea la inclusión de acciones

significativas relacionadas con la sostenibilidad ambiental, la agroecología, la variabilidad y el cambio climático, según se detalla en la Tabla 5.



Tabla 5. Acciones de las bases del PND 2022 -2026 relacionadas con sostenibilidad ambiental, agroecología, variabilidad y cambio climático

Tomado de Ramírez, Moreno, Jiménez y Castillo (2022).

Transformación 1. Ordenamiento del territorio alrededor del agua y de la justicia ambiental	
Sostenibilidad ambiental	El plan aspira a que la planificación del territorio en Colombia sea coherente con un desarrollo sostenible, donde tanto el agua como las personas sean factores determinantes en el ordenamiento territorial.
Agroecología	La planificación territorial jugará un papel fundamental en el impulso de la agroecología y la producción campesina agroalimentaria. Se enfocará en la transformación de áreas conflictivas en términos de uso del suelo, priorizando la conversión de dichas zonas en espacios forestales, agrícolas, agroecológicos y agrosilvopastoriles.
Variabilidad y cambio climático	<p>Se impulsará la actualización e implementación de herramientas de planificación que promuevan la revitalización de las economías locales mediante la adaptación al cambio climático.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Justicia ambiental y gobernanza inclusiva - Democratización del conocimiento y la información ambiental, así como de los riesgos de desastres. • Justicia ambiental y gobernanza inclusiva - Modernización de la institucionalidad ambiental. • El agua y las personas como determinantes del ordenamiento territorial – Utilización del ciclo del agua como fundamento del ordenamiento territorial.
Transformación 3. Derecho humano a la alimentación	
Sostenibilidad ambiental	Se promoverá la creación de cadenas productivas agropecuarias y agroindustriales mediante la aplicación y/o integración de tecnologías orientadas al desarrollo sostenible, involucrando activamente a las comunidades y haciendo hincapié en la transferencia de conocimientos.
Agroecología	Se promoverá integralmente el SNIA, considerando el diálogo intercultural entre los saberes tradicionales y el conocimiento científico en el ámbito de la agroecología, centrándose especialmente en la gestión del agua.
Transformación 4. Internacionalización, transformación productiva para la vida y la acción climática	
Variabilidad y cambio climático	<p>Restaurar ecosistemas, áreas protegidas y otras áreas ambientalmente estratégicas.</p> <hr/> <p>Descarbonizar los sectores productivos y gestión de sus riesgos climáticos.</p> <hr/> <p>Política exterior para luchar contra el cambio climático y la pérdida de biodiversidad.</p>



Institucionalidad

En el contexto institucional de la agroindustria 4.0, la política pública dirigida al ecosistema digital ha trazado una ruta de intervención para guiar las acciones de diversos actores, tanto del ámbito público como privado. Además, ha delineado espacios de concertación y relaciones para promover un uso más efectivo, apropiación y gobernanza de la infraestructura disponible. Este ecosistema involucra a una amplia gama de actores, como entidades a nivel nacional (tanto adscritas como vinculadas),

entidades territoriales, instituciones de educación superior, emprendedores, pymes, prestadores de servicios, medios de comunicación, dinamizadores (organismos internacionales, consultores, etc.), centros de investigación y desarrollo tecnológico, asociaciones de productores y empresas, la sociedad civil y el Estado, entre otros. La Tabla 6 menciona algunas de las entidades a nivel público y privado, así como algunos programas en los que se está trabajando actualmente (Valero y Gallo, 2021).

Tabla 6. Iniciativas relacionadas con agroindustria 4.0 de entidades del país

Tomado de Flórez, Zambrano y Perdomo (2021).

Entidad	Iniciativas
Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR)	A través del plan estratégico institucional 2019-2022, el MADR ha delineado un objetivo específico vinculado a las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) y su aplicación en la agroindustria. Este objetivo tiene como propósito impulsar la transformación digital del sector agropecuario y rural, según lo establecido por el MADR en su plan estratégico (MADR, 2019).
Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia (MinTIC)	El Programa Nacional de Ciencia y Tecnología Formuló para el 2005 - 2015 y el Plan Estratégico del Programa Nacional de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (MinTIC, 2021).



Entidad	Iniciativas
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS)	<p>En consonancia con el acuerdo de paz, el MADS ha emprendido diversas acciones, entre las cuales se destaca la promoción de prácticas e inversiones productivas caracterizadas por su sostenibilidad ambiental y la reducción de emisiones de carbono. Además, se han implementado medidas de adaptación al cambio climático. Asimismo, se impulsa la generación de negocios verdes no agropecuarios, como lo define el Plan Nacional de Negocios Verdes del MADS (MADS, 2021).</p>
ASOCAÑA	<p>Ha implementado programas de investigación en cultivos, que están bajo la propiedad de los ingenios y algunos cultivadores de caña. Estos programas buscan fortalecer la agroindustria. Además, se han puesto en marcha programas de Aprendizaje y Asistencia Técnica (PAT) con el objetivo de capacitar al personal de los ingenios, facilitando así la transferencia y adopción de tecnologías (Moreno et al., 2020).</p>
CENICAÑA	<p>En colaboración con el servicio AgroClimatológico, el servicio de cooperación técnica y transferencia de tecnología, y el servicio de tecnología informática, CENICAÑA ha introducido boletines de pronósticos diarios y semanales en el valle del río Cauca. Esta iniciativa respalda la toma de decisiones para el manejo agronómico de los cultivos (Fernández, 2021).</p>
Federación Nacional de Arroceros (Fedearroz)	<p>Gestiona cuatro centros de investigación, donde se enfocan en desarrollar variedades genéticamente superiores con adaptabilidad ambiental. Además, cuentan con tres plantas para la producción de semillas certificadas y una planta de insumos agrícolas y pecuarios (Agroz S.A). Como complemento, ofrecen servicios de maquila en sus instalaciones de secado, almacenamiento y trilla distribuidas en varios departamentos (Moreno et al., 2020).</p>
Federación Nacional de Cafeteros (Fedecafé)	<p>Posee una extensa infraestructura a nivel nacional, con tecnología de última generación y personal especializado para satisfacer las necesidades de los clientes, agregando valor al café (Fedecafé, 2021). En colaboración con Tigo y Claro, han establecido alianzas para proporcionar conectividad en 602 localidades rurales distribuidas en 239 municipios cafeteros (Fedecafé, 2021). Además, han introducido la cédula cafetera inteligente, una herramienta de identificación gremial que facilita al caficultor la venta de su café, el acceso rápido a recursos de programas y la realización de transacciones bancarias (Fedecafé, 2021).</p>
Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma)	<p>Asigna aproximadamente el 70 % de su inversión total al desarrollo tecnológico (Moreno et al., 2020). A través de Tecnopalma, un servicio activo para los palmicultores, se esfuerzan por proporcionar las últimas innovaciones tecnológicas específicas para el cultivo de palma. Este servicio aborda aspectos como el acompañamiento técnico, los bioinsumos y el análisis de aceite. Además, llevaron a cabo la migración y el desarrollo del software del sistema en la interfaz del Potencial Industrial de Aceite (PIA), una herramienta que permite monitorear en tiempo real la tasa de extracción de aceite (Loaiza, 2020).</p>



Fotografía: Boyacá, Colombia / EGT-1 / www.shutterstock.com

En el ámbito de la agrologística, el Plan Nacional de Logística (PNL) emitido en 2008 planteó la necesidad de fortalecer el Comité para la Facilitación de la Logística del Comercio y el Transporte (COMIFAL), creado en el contexto del Sistema Nacional de Competitividad e Innovación (SNCI). Esta recomendación fue acogida por el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 que estableció una estructura institucional más amplia para la planificación y seguimiento de las estrategias de implementación del PNL (BID, 2016). En 2010 se creó esta estructura, que incluyó el Comité Nacional de Logística de Transporte (CNL), en reemplazo del COMIFAL, junto con el Comité Programático de Logística (CPL) y la Unidad Técnica de Ejecución Logística (UTEL) (BID, 2016). La UTEL, establecida por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) y el Ministerio de Transporte, coordinó actividades a nivel sectorial y regional de manera conjunta (DNP, 2020).

En 2013, como parte del Programa de Apoyo a la Implementación del PNL, se implementaron esquemas de articulación a través de las comisiones regionales de competitividad, las gerencias de corredores logísticos y las alianzas logísticas regionales. Posteriormente, con la modernización del SNCI mediante la Política

Nacional de Desarrollo Productivo (pdp) en 2016, se ajustó la estructura institucional logística, incorporando el Comité Técnico de Logística y Comercio Exterior en lugar del CPL (DNP, 2020).

En la actualidad, el SNCI se organiza en instancias e instrumentos de planificación. Las de orden nacional incluyen la Comisión Nacional liderada por el presidente de Colombia y el Comité Ejecutivo con la participación del MADR. Además, hay un comité de regionalización y catorce comités técnicos, algunos de los cuales cuentan con la participación del sector agropecuario (DNP, 2020). En 2018, a través de la Resolución 789 emitida por el Ministerio de Transporte, se establecieron directrices para la formación de alianzas logísticas regionales, destinadas a desarrollar iniciativas de facilitación logística, coordinación interinstitucional e investigación para reducir costos y tiempos logísticos en regiones específicas (DNP, 2020).

En el ámbito de la bioeconomía, Colombia cuenta con diversos actores públicos, siendo el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MinCiencias) el principal responsable de llevar a cabo acciones para el cumplimiento de políticas públicas nacionales que proponen estrategias concretas para el desarrollo



y la promoción de la bioeconomía (DNP, 2018, 2021). A este también le corresponde la ejecución de acciones orientadas a la reactivación económica, beneficiando a empresas y proyectos relacionados con la bioeconomía y los negocios verdes. Otras entidades relevantes en este ámbito son ProColombia, AGROSAVIA y el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (MinCIT).

En el contexto del SNCI, se estableció la Mesa de Bioeconomía, compuesta por un grupo interministerial e intersectorial. Además de MinCiencias, participan el DNP, el MADS, los institutos del Sistema Nacional Ambiental (SINA), el MADR, AGROSAVIA, el Ministerio de Minas y Energía (MinMinas), el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para zonas no interconectadas (IPSE), el Ministerio del Interior, el Departamento Administrativo Nacional

de Estadística (DANE), entre otros. La Consejería Presidencial de Competitividad y la Gestión Público-Privada y la Vicepresidencia de la República brindan apoyo a esta iniciativa (MinCiencias, 2021).

Además de estas entidades, otras trabajan de manera general por el desarrollo de la bioeconomía nacional, como el Banco de Desarrollo Empresarial y de Comercio Exterior (Bancoldex), el MinCIT, el Ministerio de Relaciones Exteriores, el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (Sinchi), el Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP), el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR), así como otros centros de investigación y la academia en general con iniciativas en la materia. Las acciones específicas de algunas entidades en las distintas áreas estratégicas de la Misión de Bioeconomía se detallan en la Tabla 7.

Tabla 7. Entidades que desempeñan roles en áreas de la Misión de Bioeconomía

Tomado de Ramírez, Jiménez y Santana (2022).

Biodiversidad y servicios ecosistémicos	Colombia biointeligente	Agro productivo y sostenible	Biomasa y química verde
ICA, Invima, MADS, MinInterior, MinCultura, Parques Nacionales Naturales de Colombia, DPS, IAvH.	MADR, ICA, MinTIC, MSPS, INS, Invima, MADS, IAvH, Vecol.	MADR, INS, Invima, MADS, IAvH, MSPS, MinMinas, ICA, UPRA, AGROSAVIA.	MADR, INS, Invima, MADS, IAvH, MSPS, MinMinas, ICA, IPSE, UPME, Ecopetrol.

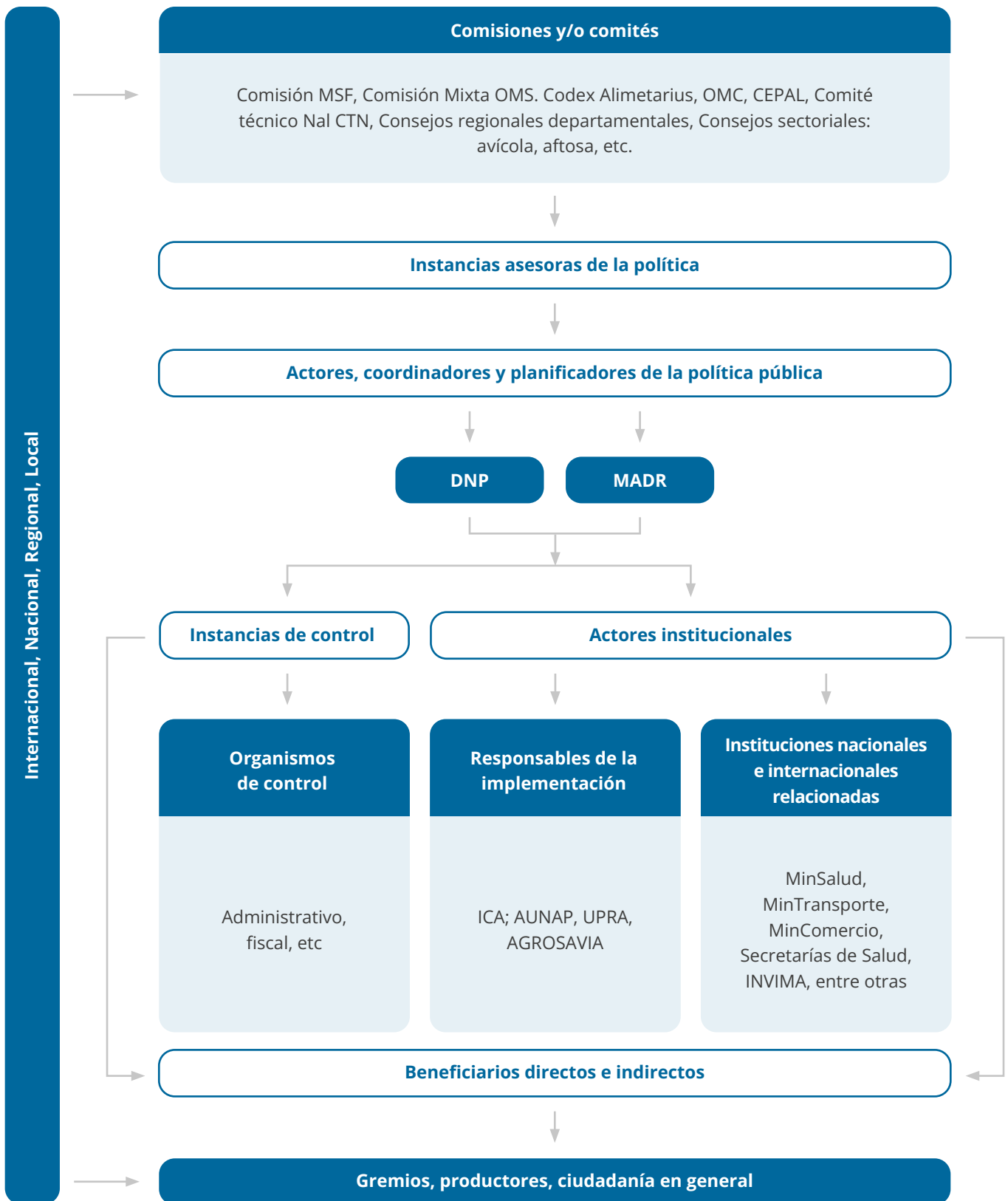
Dentro del marco de la sanidad e inocuidad, y siguiendo la propuesta de la Metodología para la definición e implementación de un Sistema de Seguimiento y Evaluación del Sistema de Sanidad, Fitosanitario y de Inocuidad (Uribe, Román y Medina, *s.f.*), participan diversas entidades que desempeñan roles específicos en este enfoque. Estos actores se distribuyen en categorías que van desde los responsables de

coordinar y planificar la política hasta las instancias encargadas del control, junto con otros actores institucionales vinculados y los beneficiarios directos e indirectos (Figura 3). Este marco establece una estructura integral que involucra a múltiples partes interesadas en el diseño, implementación y supervisión de políticas relacionadas con la sanidad e inocuidad en Colombia.



Figura 3. Actores del Sistema de Sanidad, Fitosanitario y de Inocuidad en Colombia

Tomado de Jiménez, Garavito y Yepes (2022).





En el ámbito de la seguridad alimentaria, la Ley 1355 de 2009 establece a la Comisión Intersectorial de Seguridad Alimentaria y Nutricional (CISAN) como la entidad rectora máxima en Colombia para supervisar y coordinar las políticas y programas relacionados con la seguridad alimentaria y nutricional. La CISAN, creada en 2009 mediante el Decreto 2055, integra diversas entidades, como el Ministerio de Salud y Protección Social (MSPS), el MADR, el MinCIT, el MADS, el Ministerio de Educación Nacional (MEN), el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT), el DNP, el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF), el Departamento Administrativo para la Prosperidad Social (DPS), la Agencia de Desarrollo Rural (ADR), y la Asociación Colombiana de Facultades de Nutrición. La presidencia de la Comisión, que se renueva cada dos años, está a cargo del MSPS y el MADR, siendo este último responsable desde agosto de 2020. La CISAN se reúne semestralmente con convocatoria previa de la Secretaría Técnica ejercida por la Dirección General de Salud Pública del MSPS.

A pesar de los esfuerzos, el primer informe de seguimiento al Plan Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional 2012-2019, publicado en 2016, destaca la necesidad continua de fortalecer las capacidades institucionales de la CISAN. Se identifican otras instancias e iniciativas intersectoriales que desarrollan acciones específicas en seguridad alimentaria y nu-

tricional, como el Comité Institucional de la Encuesta Nacional de Situación Nutricional - ENSIN 2015, el Comité Nacional de Micronutrientes y los Comités del Códex Alimentarius (FAO & MSPS, 2016).

En el ámbito departamental, existen comités encargados de elaborar planes en concordancia con el Plan Nacional, liderados principalmente por gobiernos locales y con participación de actores gubernamentales y no gubernamentales. Sin embargo, se observa una desarticulación en el trabajo entre actores relacionados con la seguridad alimentaria a nivel nacional, departamental y municipal. La coordinación con entidades como el ICA y el Invima para garantizar la inocuidad alimentaria es esencial.

En cuanto al seguimiento y evaluación, Colombia carece de un sistema consolidado, aunque se han creado observatorios como el Observatorio Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional (OSAN), inactivo desde 2019. Otros países, como México, Estados Unidos, India y Brasil, tienen sistemas sólidos, pero Colombia enfrenta desafíos en la disponibilidad de indicadores para todos los programas.

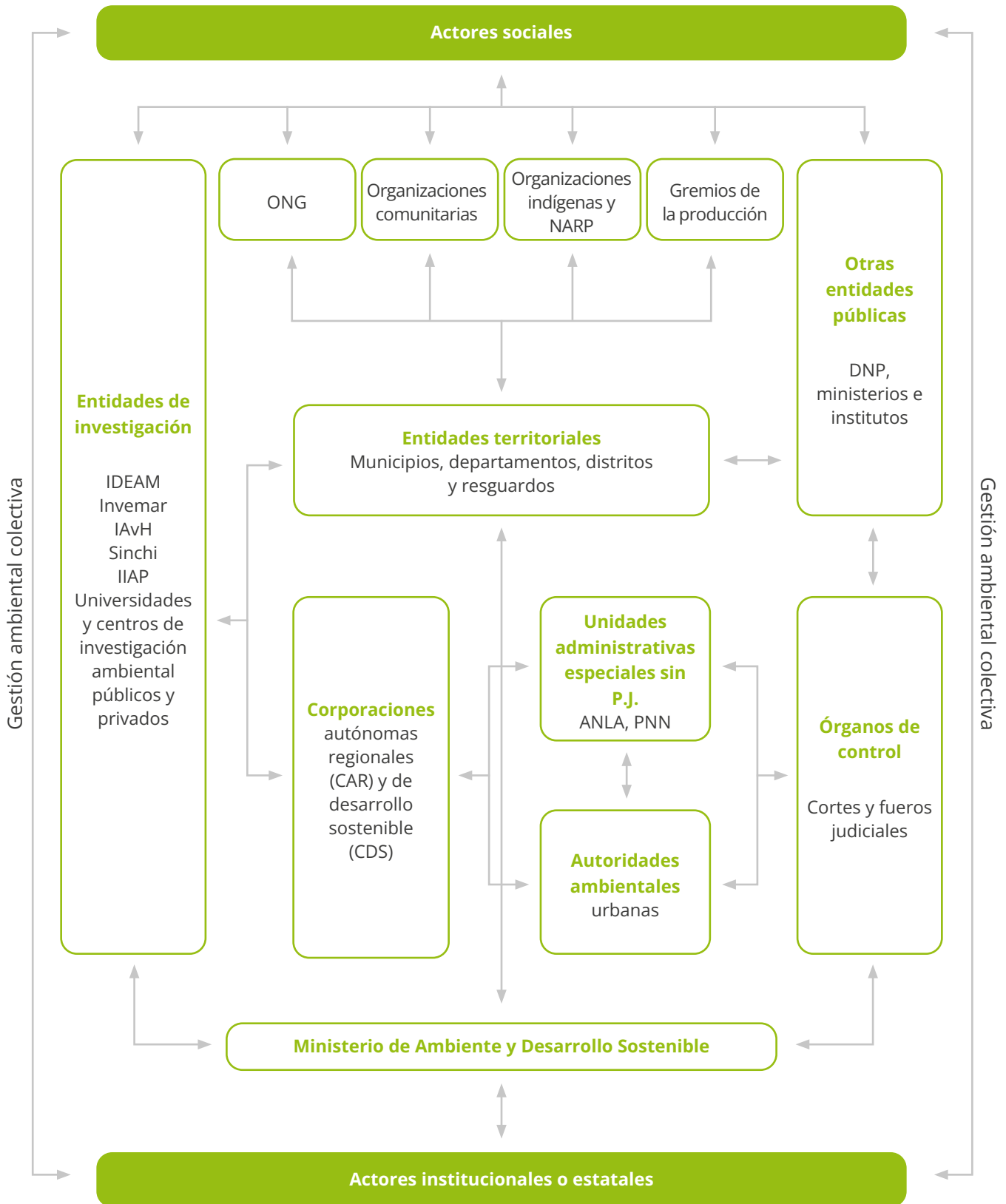
En materia de sostenibilidad ambiental, agroecología, variabilidad y cambio climático, el MADS es el rector de la gestión ambiental y de los recursos naturales renovables. El MADS dirige el Sistema Nacional Ambiental (SINA), orientando y regulando el ordenamiento ambiental del territorio y definiendo políticas y regulaciones. El SINA busca asegurar la adopción y ejecución de políticas ambientales, y cuenta con la Dirección de Ordenamiento Ambiental Territorial (DAFP, 2011).

Estos marcos regulatorios y estructuras institucionales en Colombia abordan de manera integral aspectos cruciales como la seguridad alimentaria y nutricional, la sostenibilidad ambiental y la gestión de recursos naturales en el contexto del cambio climático. Sin embargo, persisten desafíos en la coordinación y consolidación de información a nivel nacional, departamental y municipal. Los actores estatales se encuentran representados en la Figura 4.



Figura 4. Actores del Sistema Nacional Ambiental (SINA)

Tomado de Ramírez-Beltrán, A. M., Moreno-Valderrama M. N., Jiménez-Guzmán A. M., Castillo-Galindo N. T. (2022).





En el ámbito de la agroecología a nivel institucional en Colombia, se destacan cuatro instancias importantes: la Red Nacional de Agricultura Familiar (ReNAF), la Mesa Técnica de Agricultura Familiar y Economía Campesina, el Comité Interinstitucional y el Subcomité Técnico Asesor para la implementación, seguimiento y evaluación de los lineamientos de política pública para la Agricultura, Campesina, Familiar y Comunitaria (ACFC).

La ReNAF, compuesta por más de 140 organizaciones agrarias, busca impulsar la agricultura familiar mediante estrategias de trabajo en red. La Mesa Técnica de Agricultura Familiar y Economía Campesina, resultado de acuerdos entre el MADR y la ReNAF, se estableció para implementar políticas existentes según las necesidades de la agricultura familiar colombiana, dejando como producto principal los lineamientos estratégicos de política pública para la agricultura campesina, familiar y comunitaria, plasmados en la Resolución 464 de 29 de diciembre de 2017. Esta Mesa ha generado lineamientos estratégicos de política pública (ReNAF, s.f.).

En el ámbito de la gestión del cambio climático, existen cuatro espacios de coordinación institucional en Colombia: el Sistema Nacional de Cambio Climático, la Comisión Intersectorial de Cambio Climático, los nodos regionales de cambio climático y las mesas agroclimáticas. La Ley 1931 de 2018 estableció el Sistema de Información Nacional sobre Cambio Climático (SISCLIMA) y creó el Consejo Nacional de Cambio Climático como órgano permanente de consulta (MADR, 2021).

Las Mesas Técnicas Agroclimáticas (MTA) son espacios de diálogo y análisis en los que participan diversos actores, incluyendo científicos, técnicos, agricultores y representantes del sector público y privado (Loboguerrero et al., citados por Giraldo et al., 2018; Boshell y Mayorga, 2015, citados por MADR, 2021). Estas mesas generan boletines agroclimáticos con predicciones y recomendaciones para la toma de decisiones. Colombia cuenta con una mesa técnica agroclimática nacional y varias mesas técnicas a nivel regional (Giraldo et al., 2018).

En el marco del Plan Integral de Gestión del Cambio Climático (PIGCC) en el sector agropecuario, el MADR es responsable de su elaboración y orientación, mientras que la Dirección de Innovación, Desarrollo Tecnológico y Protección Sanitaria se encarga del seguimiento y garantiza el cumplimiento de lo dispuesto en él. Diversas entidades sectoriales agropecuarias como la Comisión Nacional de Crédito Agropecuario, el Banco Agrario, Finagro, AGROSAVIA, el ICA; la AUNAP, la UPRA, y la ADR, desempeñan funciones directas en la gestión del cambio climático, abordando aspectos como financiamiento, búsqueda de material genético, identificación de vulnerabilidades, zonificación y acciones relacionadas con prácticas agropecuarias sostenibles (MADR, 2021).

Estas instituciones y estructuras demuestran los esfuerzos y enfoques multidimensionales de Colombia para abordar cuestiones cruciales como la agricultura familiar, la agroecología y la gestión del cambio climático en el sector agropecuario.



Tendencias

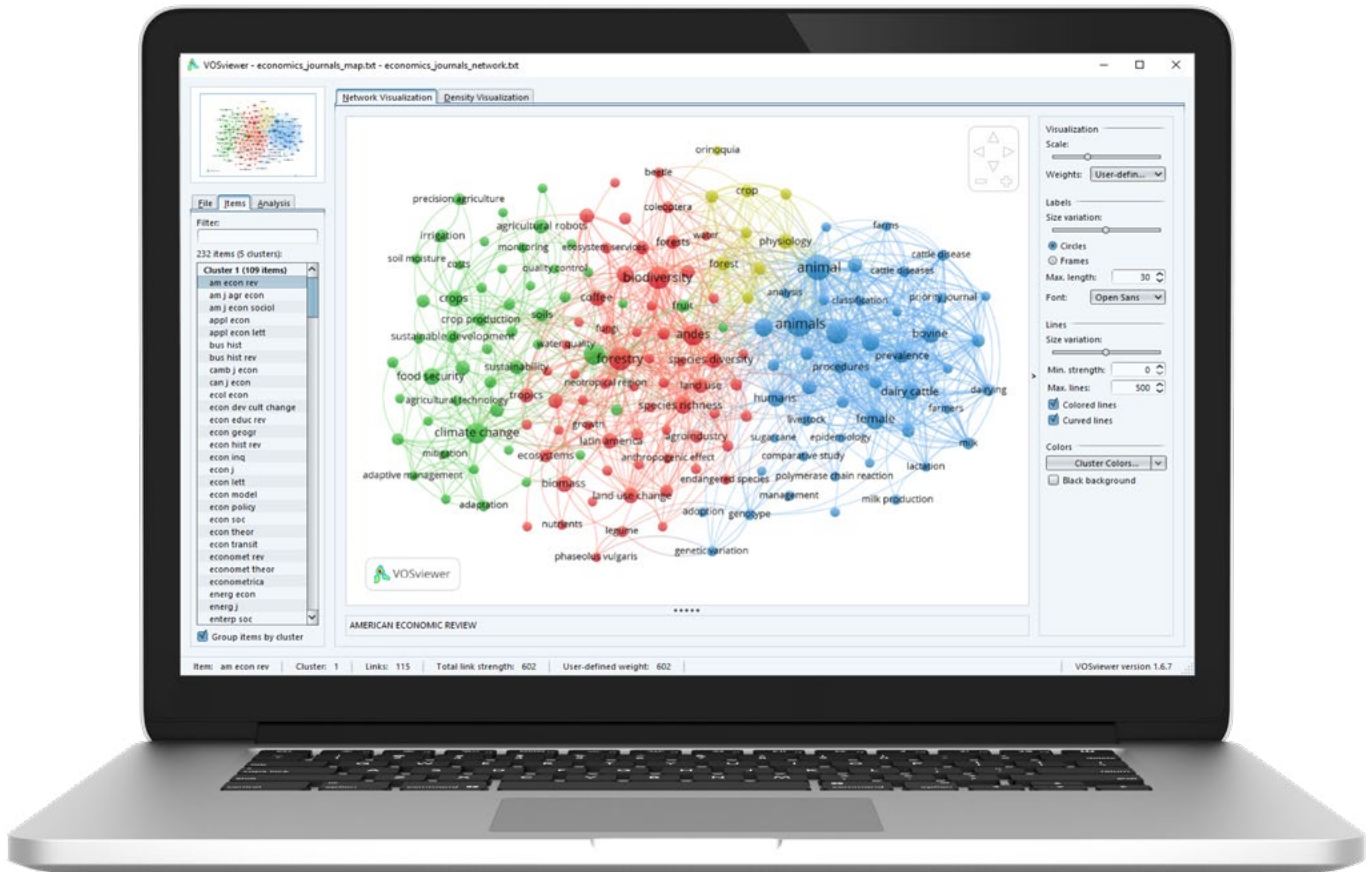
En el ámbito de la agroindustria 4.0 se evidencia que, aunque las investigaciones se han enfocado en los temas clave de las tecnologías 4.0 y su convergencia en el sector agropecuario, su implementación ha generado un marco evolutivo de integración alineado con las dinámicas de la transformación digital (Ovalle et al., 2023). La agricultura de precisión se destaca como la temática precursora, en la que la participación de empresas de alta tecnología en el sector permite el monitoreo de diversas variables en el cultivo bajo condiciones específicas de un entorno biogeográfico. Esto orienta acciones que no solo aumentan la productividad, sino que también promueven la sostenibilidad ambiental (Seth y Ganguly, 2017).

Mediante un análisis bibliométrico llevado a cabo con la herramienta VOSviewer, se han identificado temáticas investigadas en relación con la agroindustria 4.0 en Colombia durante el período 2017-2020. Estas temáticas incluyen el calentamiento global, la sostenibilidad, la biodiversidad, la agroforestería y el café, vinculados con conceptos como el uso del suelo, la palma de aceite, la ganadería y la diversidad y su conservación. Otros temas relevantes abordados son el cambio climático, la agricultura inteligente y la seguridad alimentaria, los cuales se sitúan en el interior del cuadrante. Además, el análisis revela una agrupación en cuatro clústeres (Figura 5).



Figura 5. Análisis bibliométrico relacionado con agroindustria 4.0

Tomado de Florez-Martinez, D. H., Zambrano Muñoz A. P., Perdomo-Villamil Y. L. (2021).



Clúster rojo

Relacionado con forestales y biodiversidad.

Aborda temáticas vinculadas a ecosistemas y agroforestería, estableciendo conexiones con conceptos como cambio climático y uso del suelo. Además, se detallan términos relacionados con sistemas de monitoreo.

Clúster verde

Relacionado con los robots en la agricultura.

Evidencia una fuerte influencia de las temáticas relacionadas con la implementación de robots en las tareas agrícolas para la automatización de prácticas agrícolas. En este mismo clúster se abordan temas vinculados con cultivos, producción agrícola y desarrollo sostenible.

Clúster amarillo

Relacionado con sistemas forestales.

Identifica temas relacionados con ecosistemas y conservación de recursos naturales, mostrando una fuerte conexión con los demás clústeres identificados.

Clúster azul y aguamarina

Relacionado con sistemas pecuarios.

Identifica temáticas relacionadas con variación genética y enfermedades de los animales bovinos.



Con respecto a los clústeres, aún no es tan prominente la inmersión de tecnologías en el sector agropecuario a nivel nacional. Adicionalmente, entre el 2021 al 2023 se reportaron estudios que cubren una variedad de temas, como el desarrollo de modelos de detección de etapas de crecimiento de los cultivos en tiempo real y la caracterización de las implicaciones de la Agricultura 4.0 sobre la agricultura, la sostenibilidad ambiental y la seguridad alimentaria. Además, está creciendo el reporte de aplicaciones de técnicas avanzadas de aprendizaje automático, la cadena de bloques y las aplicaciones del internet de las cosas sobre la gestión del agua, la cadena de suministro agrícola, identificación de enfermedades, estrategias de bioeconomía circular y la contaminación por agroquímicos (Ovalle et al., 2023; Chakraborty et al., 2022; Ngugi et al., 2021; Verdouw et al., 2021; y Saleem et al., 2021).

En el ámbito de la agrologística, se abordan diversas herramientas que permiten evaluar el estado logístico, dentro de las que se destaca el Índice de Desempeño Logístico (LPI, por sus siglas en inglés), creado por el Banco Mundial. Este índice se presenta como una herramienta interactiva de evaluación comparativa que mide el desempeño logístico de los países. Al utilizar este índice, los países pueden identificar los desafíos en logística internacional, comprender las tendencias globales y visualizar oportunidades de mejora para optimizar la eficiencia de las cadenas de suministro y su rendimiento en el comercio internacional (DNP, 2020). El resultado del LPI para un país es el promedio ponderado de los puntajes obtenidos en todos los aspectos evaluados.

Algunos resultados del LPI revelan que las 10 economías con mejor desempeño logístico son, de mayor a menor puntuación: Alemania, Suecia, Bélgica, Austria, Japón, Países Bajos, Singapur, Dinamarca, Reino Unido y Finlandia (Banco Mundial, 2018). Colombia, por su parte, se posicionó en el lugar 58 entre 160 economías evaluadas, mostrando un aumento del 12,6 % en la puntuación y mejorando 36

posiciones en comparación con la evaluación anterior (DNP, 2020b). Los tres indicadores de mejor desempeño para Colombia fueron: envíos internacionales (puesto 46), seguimiento y rastreo (puesto 53) y competencia logística (puesto 56) (Banco Mundial, 2018).

La Encuesta Nacional de Logística, coordinada por el DNP a través de la Dirección de Infraestructura y Energía Sostenible (DIES), representa otro instrumento relevante. Esta encuesta, planteada en el CONPES 3547 como un elemento esencial para la consolidación de un sistema logístico nacional articulado, ha tenido cuatro versiones hasta la fecha. En su última edición, realizada en 2020, abordó temas como: el desempeño logístico, la tercerización; el comercio exterior, las perspectivas de los servicios logísticos y competitividad regional.

Las tendencias de investigación en agrologística se han identificado mediante un análisis de la producción científica basado en la información indexada en la base de datos bibliográfica Scopus. Entre los años 2000 y 2021, se publicaron un total de 1.054 estudios, siendo la última década la de mayor producción. Específicamente, los últimos tres años concentran aproximadamente el 40 % de todas las publicaciones, evidenciando un crecimiento del 78 % al pasar de 104 publicaciones en 2019 a 185 en 2021. La tendencia para los años 2022 y 2023 indica que la agricultura 4.0 se está integrando progresivamente a la agrologística.

En este periodo, se han realizado revisiones exhaustivas sobre la logística de la cadena de frío para productos agrícolas frescos. Además, se han abordado análisis sobre los impactos del COVID-19 en los sistemas alimentarios, incluyendo la resiliencia de las granjas lecheras orgánicas, las respuestas en las cadenas de suministro de alimentos y la transformación digital de los procesos logísticos como parte de la recuperación pospandemia en el sistema agrícola (Cariappa et al 2021; Han et al., 2021). Asimismo, ha surgido un interés destacado en el papel del suministro de alimentos desde la perspectiva logística en relación con el uso de la tierra y la seguridad alimentaria



(Zhuang et al., 2022). Este incremento en la investigación puede estar relacionado, al menos en parte, con el interés de los investigadores en abordar los desafíos de la oferta y la demanda de productos que afectaron a numerosos países del mundo como consecuencia de la pandemia de COVID-19 y las medidas de confinamiento que llevaron a la suspensión de actividades de producción y logística.

En el periodo analizado, se han identificado cuatro grandes grupos en los que se relacionan el suministro de alimentos y la logística con: i) trazabilidad, calidad e inocuidad alimentaria, robótica, aplicación del internet en el campo agroindustrial, "Blockchain", administración y gestión de la información en la cadena de suministro; ii) sostenibilidad y desarrollo sostenible, aprovechamiento de la biomasa en la industria alimentaria, reducción de la huella de carbono, ciclo de vida de los productos de origen agropecuario, transporte, servicio de abastecimiento, impacto ambiental y reducción de pérdidas en la cadena de suministro; iii) seguridad alimentaria, cambio climático, políticas agroambientales, rendimiento de los cultivos y producción de alimentos, uso de la tierra, sensores remotos,

agroindustria, tomadores de decisiones, modelos matemáticos, administración adaptativa y regresiones logísticas; y iv) factores de riesgo humanos y no humanos para países en desarrollo, evaluación del riesgo, trabajadores agrícolas, modelos estadísticos, modelos logísticos y ecosistemas.

En el ámbito de la investigación en agrologística se observa una interdisciplinariedad que abarca diversas áreas, incluyendo ciencias agrícolas y biológicas, ingeniería, negocios, gestión y contabilidad, ciencia medioambiental, ciencias de la computación, ciencias sociales, ciencias de la decisión, energía, economía, econometría y finanzas, entre otras.

A nivel internacional, algunas instituciones destacadas en investigaciones sobre agrologística son la Universidad de Wageningen en Países Bajos, la Universidad de Boloña y las universidades de Padua y Turín en Italia, así como la Universidad Addis Ababa en Etiopía. En el contexto colombiano, las organizaciones con mayor número de publicaciones en agrologística registradas en Scopus son la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.





MinCiencias informa que en Colombia existen 26 grupos de investigación que incluyen agrologística en sus líneas de investigación. En cuanto a su ubicación geográfica, el Distrito Capital lidera con ocho grupos, seguido por el departamento de Bolívar con cuatro. Por su parte, los departamentos de Antioquia, Cauca y Nariño cuentan con dos grupos cada uno. Además, ocho grupos se distribuyen en diferentes departamentos, sumando un total de 12 departamentos y el Distrito Capital.

Según la plataforma Siembra, Colombia ofrece dos programas de formación en el campo de la agrologística. La Universidad del Atlántico, situada en el departamento del mismo nombre, brinda una espe-

cialización tecnológica en logística de distribución de productos agroindustriales, aprovechando la relevancia de Barranquilla como capital y principal puerto internacional del país. Además, la Universidad del Tolima ofrece un programa técnico profesional en logística de agronegocios.

En cuanto a las tendencias en el enfoque centrado en la bioeconomía, la FAO ha realizado un análisis comparativo de los objetivos, estrategias y mecanismos de monitoreo del impacto de la sostenibilidad y el crecimiento verde en países líderes en bioeconomía (FAO, 2018). A continuación, se describen algunas de las perspectivas adoptadas por distintos países sobre la bioeconomía:



Países Bajos

La enfocan en actividades económicas basadas en biomasa, excluyendo la producción de alimentos para animales y humanos.



Estados Unidos

Ponen énfasis en reducir la dependencia de combustibles fósiles y transitar hacia energías provenientes de recursos agrícolas renovables. Su enfoque abarca indicadores relacionados con la bioeconomía en la agricultura, considerando opciones como biocombustibles, sustancias químicas renovables y bioinsumos.



Argentina

La consideran fundamental para el desarrollo económico, abarcando acciones en agricultura, silvicultura, pesca, producción de alimentos, celulosa y papel, textiles, sustancias químicas renovables, energías alternativas e industrias biotecnológicas, incluyendo las médicas y farmacéuticas.



Alemania

Su enfoque se extiende a varios sectores, desde la ingeniería mecánica hasta la industria automotriz, construcción, alimentos, química, farmacéutica, energética, bienes de consumo y agricultura, destacando la aplicación de tecnologías sostenibles y circularidad en la economía.



Sudáfrica

La centran en la agricultura y la bioinnovación, utilizando recursos biológicos para generar materiales y procesos que promuevan el desarrollo sostenible.



El estudio de la FAO (2018) concluye que los sectores incorporados en la estrategia de bioeconomía de cada país reflejan a menudo las prioridades derivadas de ventajas comparativas. Además, señala que la bioeconomía juega diversos roles en países de ingresos bajos o medios en comparación con los de ingresos altos, considerando también la disponibilidad diferencial de biomasa. En varios países de ingresos medios y bajos, la bioeconomía se adopta como una nueva visión del desarrollo y se percibe como un camino hacia la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y los compromisos del Acuerdo Climático de París, con la gestión sostenible de los recursos naturales como una vía para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en un 60 % para 2050 (FAO, 2018).

En relación con las tendencias globales, el Foro Económico Mundial, que congrega a líderes e investigadores a nivel mundial, destaca la necesidad de modificar la evolución de los sistemas hacia una reconversión sostenible. Entre las tendencias identificadas se encuentran:

1 Economía circular: Se destaca la transición hacia una economía circular que promueva la eficiencia en el uso de recursos y reduzca el desperdicio.

2 Biotecnología y Biodiversidad: Se reconoce la importancia de la biotecnología y la biodiversidad en la búsqueda de soluciones sostenibles para los desafíos globales.

3 Agricultura sostenible: La promoción de prácticas agrícolas sostenibles se presenta como una tendencia crucial para garantizar la seguridad alimentaria a largo plazo.

4 Energía del futuro: La transición hacia fuentes de energía sostenibles y renovables se destaca como una prioridad en la agenda global.

5 Cuarta revolución industrial: La integración de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial y la automatización en los procesos productivos se reconoce como parte de la cuarta revolución industrial.

6 Protección del medio ambiente: La necesidad de fortalecer las medidas de protección ambiental se resalta como un elemento esencial para la sostenibilidad.

Según el Foro Económico Mundial (2021), estos elementos son fundamentales para lograr una economía sostenible en los sectores productivos, buscando beneficiar a la población en general.



En cuanto al índice de crecimiento verde (2020), se centra en cuatro temas alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), el Acuerdo Climático de París y las Metas de Aichi para la Diversidad Biológica:

- 1 Uso eficiente y sostenible de los recursos:** Incluye energía, agua, tierra y materia prima, buscando optimizar su utilización de manera sostenible.
- 2 Protección y conservación del capital natural:** Se enfoca en la calidad ambiental, reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), biodiversidad y protección de ecosistemas, así como en el valor cultural y social asociado.
- 3 Oportunidades económicas verdes:** Considera la inversión, el comercio, el empleo y la innovación desde una perspectiva de crecimiento verde.
- 4 Inclusión social:** Engloba el acceso a servicios y recursos básicos, equidad de género y protección social, destacando la importancia de la inclusión social en el desarrollo sostenible.

En la región de Centroamérica y el Caribe, la atención se ha centrado en la protección y conservación del capital natural, así como en el uso eficiente y sostenible de recursos como la energía y las materias primas de origen natural. En Colombia, la bioeconomía se visualiza como una política pública clave para cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), fomentar el desarrollo integral de las regiones y mejorar el bienestar de las comunidades (Gobierno de Colombia, 2020; Vargas et al., 2023). Esta política, que se enfoca en el uso sostenible de los recursos

naturales y el conocimiento de la biodiversidad, tiene como objetivo la conservación y restauración de los ecosistemas del país, así como la implementación de sistemas productivos sostenibles basados en tecnología (Gobierno de Colombia, 2020).

La implementación de la bioeconomía en Colombia requiere una estrategia variada por sectores productivos, involucrando a diversos actores y desafiando a las políticas públicas para lograr un cambio generacional en el aprovechamiento de los recursos (Romero et al., 2023). Este avance se logra al valorizar y conservar los recursos de la biodiversidad, generar agricultura sostenible, aplicaciones biotecnológicas (productos y procesos), servicios ecosistémicos, eficiencia en las cadenas de valor y biorrefinerías (Gobierno de Colombia, 2019).

El marco político de la bioeconomía en Colombia implica acciones climáticas y servicios ecosistémicos para el desarrollo territorial y el crecimiento verde. Busca generar productos, procesos y servicios de alto valor agregado, centrándose en el aprovechamiento de la biomasa terrestre, la biodiversidad continental y oceánica, y los servicios ecosistémicos (Vargas et al., 2023). Este enfoque se desarrolla mediante elementos como bioprospección, biointeligencia, componentes de la biomasa y la biodiversidad, biorrefinerías, y productos biobasados en diversas áreas como materiales, química verde, salud y bienestar, combustibles y bioenergías, cosmética y farmacéuticos (Gobierno de Colombia, 2019).

El modelo de bioeconomía en Colombia busca que el sector agropecuario promueva la revolución agroindustrial para mejorar la producción de alimentos mediante métodos no convencionales. Se enfoca en el procesamiento de alimentos con la búsqueda de materiales agropecuarios de bajo valor, la generación de variedades vegetales ricas en proteínas, la producción de insectos para alimentación, la reducción de la cadena de suministro acercando la producción al consumidor, el desarrollo de nuevos alimentos e ingredientes, el fortalecimiento del uso potencial del



cáñamo, insumos biológicos que reducen el uso de agroquímicos, y la creación de plataformas locales de producción, transformación, comercio y consumo (González et al., 2023; Zambrano et al., 2022; Martínez, Castañeda y Galvis, 2020; Sánchez et al., 2014).

Los informes de competitividad de los últimos años indican que el crecimiento verde en Colombia se ha enfocado en el uso eficiente de los recursos, con énfasis en la productividad del agua y la tierra, la eficiencia en el uso de materiales, certificaciones empresariales y financiamiento verde, la conservación y restauración del capital natural, la lucha contra la deforestación, la calidad del aire y la gestión del cambio climático. Estas dinámicas, junto con las del sector agropecuario, resaltan la importancia de la bioeconomía para el desarrollo, posicionándola como un enfoque central dentro de la agenda I+D+i.

En el ámbito corporativo agropecuario, se destaca la iniciativa de AGROSAVIA con la publicación titulada “Bioeconomía: lineamientos corporativos”. Este documento tiene como objetivo orientar la toma de decisiones en términos de I+D+i para abordar las necesidades del sector agropecuario. La identificación de líneas estratégicas y contribuciones de esta entidad a la bioeconomía del país se articula en torno a cuatro enfoques: i) prácticas de agricultura sostenible; ii) biodiversidad; iii) economía circular; y iv) bioproductos (AGROSAVIA, 2021).

En el foco de la sanidad vegetal a nivel global, se observa un crecimiento significativo en las investigaciones relacionadas con el biocontrol, la agricultura sostenible y los hongos entomopatógenos. Los temas emergentes continúan enfocándose en el manejo de plagas, enfermedades, la salud vegetal y la dinámica poblacional. Las investigaciones más relevantes se centran en enfermedades de las plantas, control biológico, virología y alternativas biológicas para diversos usos en la producción agropecuaria.

En cuanto a la inocuidad alimentaria, se ha observado un desarrollo continuo de investigaciones relacionadas con aspectos fundamentales como el control y la calidad de alimentos y la contaminación química en alimentos, así como las técnicas diagnósticas. Los temas emergentes siguen vinculados con la seguridad alimentaria, la microbiología de los alimentos y el control y procesamiento de alimentos. Las investigaciones de mayor relevancia abordan higiene, procesamiento, manipulación, empaque y almacenamiento de alimentos, microbiología de alimentos, valores nutricionales, antibióticos, contaminación de alimentos, contaminación química, análisis alimenticios, medicamentos no clasificados, pesticidas, y riesgos para la salud, así como micotoxinas, aflatoxinas, bioacumulación, contaminación y calidad del agua, contaminación del suelo y monitoreo ambiental.



Dada la relevancia de los problemas relacionados con la sanidad, fitosanidad e inocuidad en la economía, la salud pública y la producción agropecuaria, se destaca la importancia de identificar elementos que permitan tomar acciones para mejorar tanto el estatus sanitario y fitosanitario como la inocuidad en Colombia y a nivel mundial. En el marco de la ficha de inversión sanitaria de la Dirección de Innovación, Desarrollo Tecnológico y Protección Sanitaria del MADR, se evidencia que Colombia cuenta con capacidades específicas para abordar estas temáticas. Se identificaron un total de 219 grupos de investigación con experiencia en temas sanitarios y fitosanitarios, 118 grupos en temas de inocuidad, y 23 grupos con experiencia en ambas áreas. En la categorización de sanidad y fitosanidad, el 32 % de los grupos se clasifican en la categoría C, el 15 % en la categoría B, el 10 % en la categoría A1, y el 23 % no están clasificados. En la temática de inocuidad, el 25 % de los grupos se ubican en la categoría C, el 22 % en la categoría B y el 17 % en la categoría A1. La Universidad Nacional de Colombia destaca como la institución con la mayor cantidad de grupos de investigación en temas sanitarios, fitosanitarios e inocuidad, seguida por la Universidad de Antioquia, AGROSAVIA y la Universidad de Nariño (AGROSAVIA, 2021).

En Colombia, la información sobre temas sanitarios, fitosanitarios y de inocuidad registrada en Scopus durante el periodo de estudio (2017-2020) es limitada. Las instituciones que se destacan por su productividad en estos temas son AGROSAVIA (que lidera en temas sanitarios y fitosanitarios para el sector agropecuario en general) y CIAT (en el caso de inocuidad). Otras entidades relevantes incluyen la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad de Antioquia, la Universidad de Caldas, la Universidad de la Amazonía, la UDCA, la Universidad de los Andes y la Universidad de Santander. Algunos de los trabajos se han llevado a cabo en colaboración con organizaciones de otros países, como la Universidad de Sao Paulo (USP) y Embrapa de Brasil, AgResearch de Nueva Zelanda y el Instituto Nacional de Investigación de Recursos de Cultivos (NaCRRI) de Uganda.

Una de las principales tendencias que ha surgido a nivel mundial y que ha sido adoptada como referencia en Colombia es el concepto de One Health (Una Salud) (Organización Mundial de la Salud, 2020). Este enfoque promueve el bienestar equilibrado entre los humanos, los animales y el medio ambiente, destacando la necesidad de enfoques holísticos y transdisciplinarios para abordar los desafíos de salud pública en un mundo interdependiente (Mackenzie y Jeggo, 2019). El concepto de One Health tiene múltiples implicaciones en la agricultura, por cuanto aborda la necesidad de vigilancia y respuesta integradas para prevenir y controlar la propagación de enfermedades zoonóticas, promueve el uso responsable de antimicrobianos en la agricultura, gestiona de manera integrada la salud de los ecosistemas agrícolas y considera la seguridad alimentaria desde una perspectiva que involucra la salud de los animales y la sostenibilidad de las prácticas agrícolas (Salinas-Velandia et al., 2022).

En Colombia, el Instituto Nacional de Salud (INS) ha liderado iniciativas en el marco de One Health, como el primer "Workshop" de One Health en Latinoamérica, con el apoyo de la Oficina One Health de los Centros para el Control de Enfermedades (CDC) (Salud, s.f.). Además, se ha establecido el Plan Decenal de Salud Pública, que considera los insumos del ambiente, la salud humana y la salud animal. Actualmente, el consorcio Colombia Wisconsin One Health, creado en colaboración con la Universidad de Wisconsin Madison y la Universidad Nacional de Colombia, se dedica al fortalecimiento científico y a la oferta de servicios de diagnóstico e investigación clínica, científica y tecnológica en el ámbito de la salud en Colombia (Consortium, s.f.).

En el contexto de seguridad alimentaria y nutricional, se realizó un análisis de la producción científica utilizando la base de datos Scopus durante el periodo 2016-2020. Este análisis proporciona una visión general de los temas de investigación, destacando la importancia de la nutrición y la salud como aspectos fundamentales para el desarrollo humano, con un impacto significativo en la economía del sector agrícola.



Fotografía: Amaranthus / Flower_Garden / www.shutterstock.com

A nivel global, los temas más investigados abarcan sistemas alimentarios, producción a pequeña escala, bancos de alimentos, medidas contra la sequía, desperdicio o pérdida de alimentos, trazabilidad, fertilidad de suelos y fitomejoramiento (Figura 6). Se identificaron 80,724 investigadores provenientes de 200 países, con un crecimiento promedio anual del 22 % entre 2011 y 2020 (Morales Castañeda, Contreras Pedraza y Flórez, 2021). Durante el periodo 2021-2023, las publicaciones se enfocaron en los impactos del COVID-19 en la producción agrícola, la seguridad y los sistemas alimentarios en varias regiones, incluyendo el sudeste asiático, el África subsahariana y las islas del Pacífico (Carducci et al., 2021).

Diversos investigadores exploraron alternativas de proteínas, como las algas rojas, así como el papel del selenio en la nutrición de las plantas y el potencial de cultivos subutilizados, como el grano de amaranto (Aderibigbe et al., 2022). Las discusiones abarcaron temas como la aplicación de la edición de genes en cultivos de leguminosas, la resiliencia de las cadenas de valor globales y locales, y la im-

portancia de la seguridad hídrica para garantizar la seguridad alimentaria (Thudi et al., 2021; Young et al., 2021). También se examinaron el suministro de micronutrientes provenientes de la pesca marina, las contribuciones de la agroecología a la seguridad alimentaria y el uso de nanotecnología en la agricultura sostenible (Clapp et al., 2022).

Estados Unidos lidera en número de investigadores asociados a seguridad alimentaria, registrando 21.100, seguido por China, Reino Unido, Australia, India y Brasil. Para Colombia, se registran 311 investigadores en esta área. Entre los institutos con mayor impacto (medido a través de citas por publicación) se destacan Wageningen University, la Universidad de California y la Universidad de Cornell (Morales, Contreras y Flórez, 2021). En cuanto a patentes, se identificaron 1.853 relacionadas con seguridad alimentaria, con 650 inventores registrados de 842 organizaciones solicitantes en 56 países. China lidera con 926 patentes, seguida por Estados Unidos con 308 y Alemania con 245 (Morales, Contreras y Flórez, 2021).



Figura 6. Principales tendencias y perspectivas de la seguridad alimentaria

Tomado de Ramírez-Beltrán, A. M., Moreno-Valderrama M. N., Molano-Bernal L. C., Zambrano Muñoz A. P. (2021).

Principales tendencias y perspectivas



Procesamiento de alimentos especialmente con la aplicación de temperaturas y altas presiones

- 1 Aseguramiento de la calidad microbiológica.
- 2 Fortalecimiento de tecnologías aplicadas a la trazabilidad.
- 3 Inocuidad en los alimentos cada vez cobra más importancia en función de la salud humana.



Contaminación química de alimentos, especialmente por metales pesados cuyo origen, en su mayoría, es de residuos de pesticidas

- 1 Procesos de aseguramiento de calidad, controles de calidad para satisfacer necesidades de consumo identificados con la inocuidad alimentaria.
- 2 Biotecnología, relacionada con control biológico y los procesos de biorremediación.



Sostenibilidad en el suministro de alimentos

- 1 Producción intensiva sostenible y la adaptación al cambio climático. Mejoramiento genético como factor de adaptación a factores edafoclimáticos adversos, como lo es la sequía.



Valor nutricional de los alimentos ha sido una tendencia

- 1 Los alimentos funcionales, el valor agregado, aditivos, antioxidantes, componentes bioactivos, biofortificación y suplementos dietarios hacen parte integral del valor agregado que el consumidor está demandando.



Según información proporcionada por MinCiencias, Colombia alberga 44 grupos de investigación que focalizan su atención en la seguridad alimentaria, distribuidos en diversas categorías, siendo 17 de ellos clasificados en la categoría C, 14 en la categoría B, 7 en la categoría A, 3 en la categoría A1 y 3 reconocidos sin clasificación específica (Ramírez, 2020). Cabe destacar que los grupos de investigación de la máxima categoría cuentan con el respaldo de tres universidades y un hospital universitario.

Asimismo, la plataforma Siembra señala que en Colombia existen 6 programas de formación dedicados explícitamente a la seguridad alimentaria. De estos programas, dos se ofrecen a nivel de maestría, impartidos por la Universidad del Atlántico y la Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá). Además, se cuenta con 3 programas de especialización proporcionados por la Universidad de Pamplona, la Universidad de Santander y la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Finalmente, hay un programa a nivel tecnológico ofrecido por la Universidad del Atlántico (Ramírez, 2020).

Las tendencias vinculadas a la sostenibilidad ambiental, la agroecología y la variabilidad y cambio climático representan desafíos significativos a nivel global. En particular, la agroecología destaca como una tendencia crucial para el desarrollo del sector agropecuario, pues presenta una oportunidad para la transformación integral y el rediseño de sistemas productivos adaptados a condiciones locales (Impulso, s.f.). La creciente demanda mundial de alimentos ecológicos, el uso de bioinsumos y la preocupación por el impacto ambiental hacen que esta tendencia sea una prioridad para gobiernos en todo el mundo (Campo, 2020).

Los esfuerzos en agroecología en la región de Centroamérica y el Caribe se centran en el reconocimiento de los agricultores familiares como actores clave en procesos agroecológicos, junto con la recuperación de su conocimiento productivo tradicional y saberes ancestrales de los pueblos indígenas. Además, se destacan temas como el desarrollo rural sostenible, el fortalecimiento de los pequeños agricultores, la protección de la biodiversidad, el medio ambiente y la lucha

contra el cambio climático (FAO, 2021). En Colombia, y desde la perspectiva de la política pública, la agroecología se enfoca en el desarrollo sostenible, la gobernanza responsable de la tenencia de la tierra, la pesca y los bosques, y la agricultura campesina, familiar y comunitaria, así como en sistemas productivos sostenibles.

En el ámbito de la variabilidad y cambio climático, surgen desafíos debido a las diversas percepciones de este problema transversal, con estrategias principalmente orientadas a la mitigación y adaptación. En cuanto a la mitigación, se establecen lineamientos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y se promueven alternativas tecnológicas para reducir emisiones perjudiciales para el medio ambiente. Respecto a la adaptación, se implementan medidas estructurales (como la construcción de obras de protección contra eventos climáticos extremos) y no estructurales (como programas de educación y concientización, o la aplicación de normas de urbanismo para limitar la construcción en zonas amenazadas por eventos extremos) (Sura, 2020).

Para examinar las tendencias en investigación agropecuaria relacionadas con la sostenibilidad ambiental, agroecología, variabilidad y cambio climático, se llevó a cabo un análisis bibliométrico de la producción científica utilizando la base de datos bibliográfica Scopus para el período de 2016-2021. Se observa un aumento notable, especialmente en los últimos tres años (Figura 7).

A nivel mundial, Estados Unidos y China destacan como líderes, representando conjuntamente el 33 % de las publicaciones científicas en sostenibilidad ambiental, el 42 % en agroecología y el 39 % en variabilidad y cambio climático. En la región de Latinoamérica y el Caribe (LAC), los líderes en investigación son, en su orden, Brasil y México, mientras que Colombia ocupa la tercera o cuarta posición en la región. A nivel mundial, Colombia se sitúa en el puesto 27 en publicaciones asociadas con agroecología, variabilidad y cambio climático, y en el puesto 44 en sostenibilidad ambiental (Tabla 8).



Figura 7. Publicaciones científicas relacionadas con sostenibilidad ambiental, agroecología y cambio climático

Tomado de Ramírez-Beltrán, A. M., Moreno-Valderrama M. N., Jiménez-Guzmán A. M., Castillo-Galindo N. T. (2022).

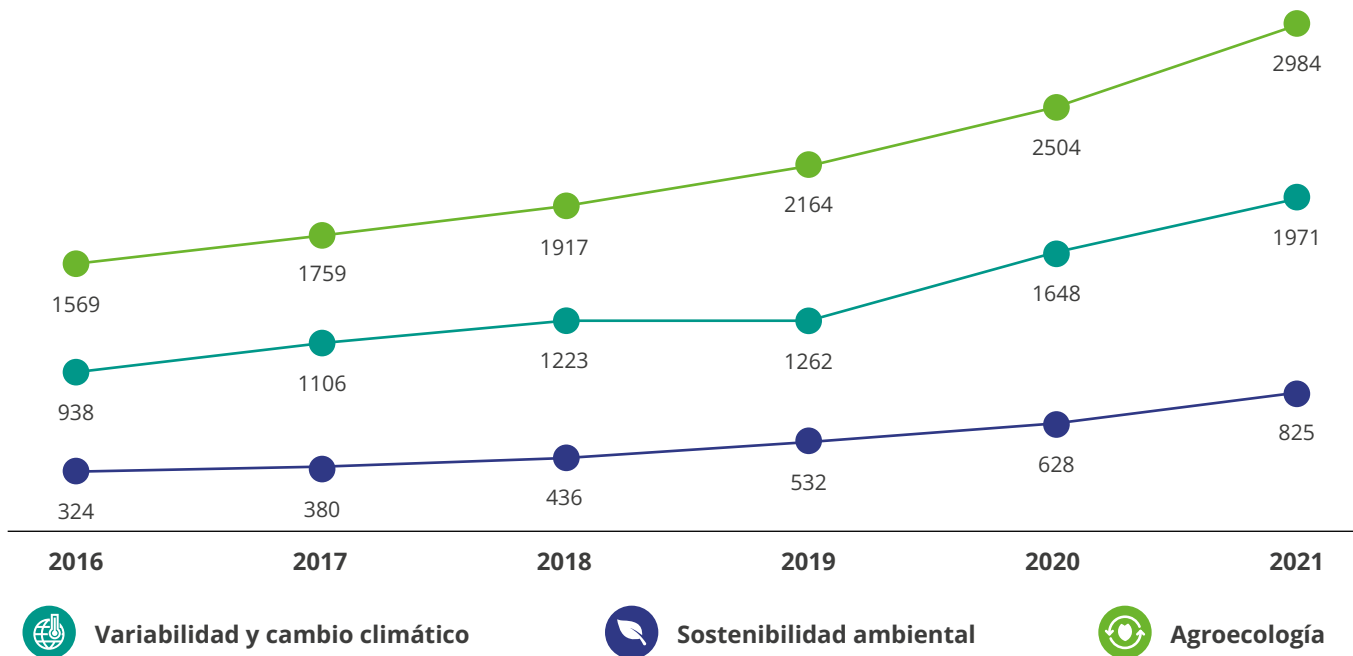


Tabla 8. Países líderes en el mundo y LAC, 2016-2021

Tomado de Ramírez, Moreno, Jiménez y Castillo (2022).

	Variabilidad y cambio climático			Sostenibilidad ambiental			Agroecología		
	N	País	Publicaciones	N	País	Publicaciones	N	País	Publicaciones
Mundo	1	EE. UU.	1743	1	EE. UU.	628	1	China	3121
	2	China	1432	2	China	398	2	EE. UU.	2320
	3	India	979	3	Italia	342	3	Reino Unido	927
	4	Reino Unido	648	4	India	288	4	Francia	922
	5	Australia	639	5	Reino Unido	254	5	Alemania	861
LAC	11	Brasil	306	6	Brasil	231	7	Brasil	613
	17	México	165	18	México	63	14	México	280
	27	Colombia	118	26	Argentina	47	24	Argentina	179
	44	Argentina	74	44	Colombia	26	27	Colombia	157
	47	Chile	60	49	Ecuador	20	35	Chile	106



Para resumir, los temas de investigación que sobresalen son los siguientes:

En **sostenibilidad ambiental**, cinco grupos relacionados con:

- 1 Cambio en el uso de la tierra por efectos del cambio climático, alternativas de producción, modificaciones en la cadena de suministro de alimentos y su asociación con la seguridad alimentaria, conservación de los recursos naturales, protección del medio ambiente, biodiversidad, agroforestería y servicios ecosistémicos, así como la evaluación de los efectos económicos y sociales.
- 2 Manejo de suelos, manejo de aguas residuales y lixiviados, uso de fertilizantes y prácticas agrícolas.
- 3 Impactos ambientales, robots agrícolas, gases de efecto invernadero, evaluación del ciclo de vida, calentamiento global, eficiencia energética, aprovechamiento de la biomasa, biocombustibles, control de emisiones, cadenas de suministro, aprovechamiento y disposición de residuos, bioacumulación y biorremediación.
- 4 Administración, eficiencia y suministro del agua, riego, calidad del agua, estrés por sequía y conservación.
- 5 Mitigación y emisiones agrícolas.

En **agroecología**, cuatro grupos relacionados con:

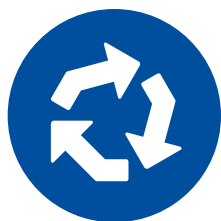
- 1 Cambio climático, sostenibilidad, cadenas de suministro, seguridad alimentaria, agricultura alternativa, agricultura sostenible, servicios

ecosistémicos, suministro y administración del recurso hídrico, riego y sistemas de riego, conservación de recursos naturales, cambios en el uso de la tierra e impactos ambientales.

- 2 Robots agrícolas, metales pesados (níquel, cromo, cadmio, plomo, cobre), evaluación del riesgo, calidad del agua, polución del suelo, bioacumulación y contaminantes del suelo y del agua.
- 3 Microbiología de suelos, aplicación de fertilizantes, biomasa, metabolismo, genética, fisiología, materia orgánica y biorremediación.
- 4 Prácticas agrícolas.

En **cambio climático**, seis grupos relacionados con:

- 1 Producción y rendimiento de cultivos, sistemas de riego y suministro de agua, modelos climáticos, robots agrícolas.
- 2 Sequía, crecimiento, desarrollo y envejecimiento de los cultivos, fisiología, metabolismo, genética, microbiología, metales pesados y biorremediación.
- 3 Producción y suministro de alimentos, seguridad alimentaria, cambio en el uso de la tierra, protección ambiental y biodiversidad.
- 4 Gases de efecto invernadero, calentamiento global, cambio en el uso de la tierra, desarrollo sostenible, bioenergía, biomasa e impacto ambiental.
- 5 Suelos, fertilizantes, secuestradores de carbono y gases de efecto invernadero.
- 6 Riego.



Agenda I+D+i

El PECTIA, junto con la Agenda Nacional I+D+i que lo conforma, se establecen como el marco directriz para la política de CTI en el ámbito agropecuario (Congreso de la República de Colombia, 2017). La Agenda I+D+i se presenta como el “instrumento de planificación y gestión para la focalización de recursos y acciones de I+D+i, orientadas a fortalecer, dinamizar y optimizar el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA) con el propósito de mejorar la productividad y competitividad sectorial” (Congreso de la República de Colombia, 2017). En ella se detallan las demandas de I+D+i de las cadenas productivas agropecuarias.

En cuanto a la agroindustria 4.0, se incorporan las necesidades o requerimientos vinculados específicamente al componente de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en la Agenda de I+D+i (507 demandas). Según un análisis realizado con información de la plataforma Siembra, el 57 % (251) del total de demandas se enfocaron en el área temática de sistemas de información, zonificación y georreferenciación. Esto fue seguido por las áreas de manejo ambiental y sostenibilidad (10 %), socioeconomía, mercadeo y desarrollo empresarial (9 %), manejo de suelos y aguas (7 %), manejo del sistema productivo (5 %), y manejo sanitario y fitosanitario (3 %). Asimismo, se abordaron temas como la transferencia de tecnolo-

gía, calidad e inocuidad de insumos, recursos, manejo de cosecha, poscosecha y transformación, entre otros. Dentro de este conjunto de demandas relacionadas con TIC y agroindustria 4.0, se destaca la siguiente distribución: i) definición de áreas aptas o zonas agroecológicas potenciales, con 200 demandas (39 %); ii) geomática, con 186 demandas (37 %); y iii) sistemas de información para la cadena, con 121 demandas (24 %). Además, se incluyen como parte de la línea base los objetivos estratégicos y estrategias abordadas en los Planes Departamentales de Extensión Agropecuaria en relación con el enfoque de prestación de servicios de extensión agropecuaria centrados en el aspecto TIC.

El enfoque de agrológica concentra 1.823 demandas dentro de las 6.019 demandas del consolidado nacional de la Agenda I+D+i, representando el 30,3 %. Las temáticas asociadas incluyen el manejo de la cadena de frío, distribución, almacenamiento, acopio, conservación, embalaje, logística y la mejora de la eficiencia en la cadena de suministro, así como el transporte, entre otras. Las demandas identificadas están principalmente vinculadas al área de cosecha, poscosecha y transformación, representando un 27,5 %. No obstante, también se observa una fuerte relación con las áreas de socioeconomía, mercadeo y desarrollo empresarial (14 %), y calidad e inocuidad



de insumos y productos (9,4 %). Dentro de este enfoque, destacan algunas cadenas, como la del arroz, con el 52,6 % de las demandas asociadas, hortalizas con un 42,8 %, yuca y ñame con un 40,9 %, plátano con un 39,2 %, y acuicultura y pesca con un 35,8 %. Además, los departamentos que presentan la mayor cantidad de demandas son Arauca (donde el 47 % del total de demandas departamentales está relacionado con este enfoque), Tolima (con el 44,3 % de demandas relacionadas) y Huila (con el 42,1 %).

En la categoría de bioeconomía, y como resultado del análisis de contenidos de las 6.019 demandas de la Agenda I+D+i se identificaron aproximadamente 1.600 (27 %) con enfoque explícito en bioeconomía. De las 14 áreas temáticas en las que se distribuyen las demandas de la Agenda I+D+i, todas cuentan con alguna demanda asociada directamente con la bioeconomía, siendo la principal Material de siembra y mejoramiento genético con 56 % (303 de 539) y Manejo ambiental y sostenibilidad con el 51 % (230 de 452 demandas). Las demandas de I+D+i afines a bioeconomía se encuentran distribuidas en las 51 cadenas productivas agrícolas y pecuarias. No obstante, el 59 % de dichas demandas se encuentra representado en 11 cadenas, siendo la principal la cadena de hortalizas con aproxi-

madamente 12 % (185) de las demandas afines a bioeconomía; seguida de las cadenas de frutales con 8 % (125) acuicultura y pesca con el 6 % (99), cacao con el 5,3 % (85) y arroz con el 4,6 % (74). Los departamentos que registran mayor cantidad de demandas asociadas a bioeconomía son Antioquia, Meta, Cundinamarca, Córdoba y Valle del Cauca.

En forma general, se identifica que las cadenas agropecuarias demandan en materia de bioeconomía, investigación, desarrollos tecnológicos e innovación para la obtención de bioproductos como biofertilizantes y bioplaguicidas, para el manejo sostenible de la producción agrícola y pecuaria; caracterizar sustancias con propiedades funcionales presentes en la biomasa (productos y coproductos) para el desarrollo de nuevos productos saludables y nutritivos, con fines farmacológicos, cosméticos o alimenticios; mejoramiento de procesos para la industrialización y comercialización de derivados agropecuarios con valor agregado y bajo principios de economía circular; evaluar, reducir y biorremediar el impacto ambiental generado por las actividades agropecuarias. Lo anterior, incluyendo procesos de extensión agropecuaria para la formación y fortalecimiento de capacidades de los actores de la cadena de valor.





Respecto a la distribución geográfica, todos los departamentos con información disponible de la Agenda I+D+i agropecuaria (21 de 32 departamentos) han priorizado entre el 3,7 % y el 27,1 % de sus demandas en temas de bioeconomía. El departamento del Vaupés se destaca como el principal, con el 27,1 % de sus 118 demandas relacionadas con este tema. Sin embargo, Antioquia, Córdoba, Tolima, Valle del Cauca, Casanare y Norte de Santander también sobresalen por su representatividad en el total de esta lista. Se identifica que las cadenas agropecuarias demandan investigación, desarrollos tecnológicos e innovación en bioeconomía para obtener bioproductos (como biofertilizantes y bioplaguicidas), gestionar de manera sostenible la producción agrícola y pecuaria, y desarrollar nuevos productos saludables y nutritivos a partir de sustancias presentes en la biomasa. Además, se busca mejorar procesos para la industrialización y comercialización de derivados agropecuarios con valor agregado y bajo principios de economía circular. También se enfatiza en la evaluación, reducción y biorremediación del impacto ambiental generado por las actividades agropecuarias, incluyendo procesos de extensión agropecuaria para la formación y fortalecimiento de capacidades de los actores de la cadena de valor.

En relación con el enfoque de sanidad, fitosanidad e inocuidad, se han identificado aproximadamente 1.139 demandas, lo que representa el 19 % del total de 6.019 demandas de la Agenda I+D+i con un enfoque explícito. Estas demandas están principalmente asociadas a áreas temáticas como el manejo sanitario y fitosanitario, que representa el 34,5 % de las demandas, seguido por calidad e inocuidad de insumos y productos con el 24,4 %, y material de siembra y mejoramiento genético con el 14,6 %. El 96,2 % de estas demandas se distribuye en 51 cadenas, siendo la cadena de hortalizas la principal con el 9,4 %, seguida por las cadenas de acuicultura y pesca (7,6 %) y frutales (7,3 %). En el consolidado general de demandas relacionadas con este enfoque, los departamentos

que destacan por reportar necesidades específicas son Antioquia (con 127 demandas identificadas), Valle del Cauca (con 103 demandas) y Cundinamarca (con 97 demandas).

De manera general, las cadenas agropecuarias demandan en el enfoque de sanidad, fitosanidad e inocuidad temáticas como la determinación del estatus sanitario y fitosanitario, la identificación de planes sanitarios en los sistemas productivos, la mejora en la prevención, monitoreo y control de los cultivos, la investigación en Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (MIPE), la búsqueda del mínimo impacto a la salud humana, animal y ambiental (One Health), la mejora de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y la producción orgánica. También se busca mejorar la calidad de los productos pecuarios y agrícolas para el consumo, asegurar la inocuidad de los productos para exportación, impulsar la trazabilidad, calidad e inocuidad de los productos, mejorar la calidad de procesos y productos para generar valor agregado y aumentar el acceso a mercados nacionales e internacionales. Además, se busca desarrollar productos que respondan a las nuevas tendencias en salud y nutrición humana, identificar, medir y vigilar límites máximos de residuales (LMR) en alimentos, implementar procesos para la certificación de calidad y exportación, y generar modelos productivos sostenibles innovadores, de producción limpia, orgánica y convencional. También se contempla la actualización e implementación de los requerimientos en la normativa según la exigencia de los mercados para la exportación.

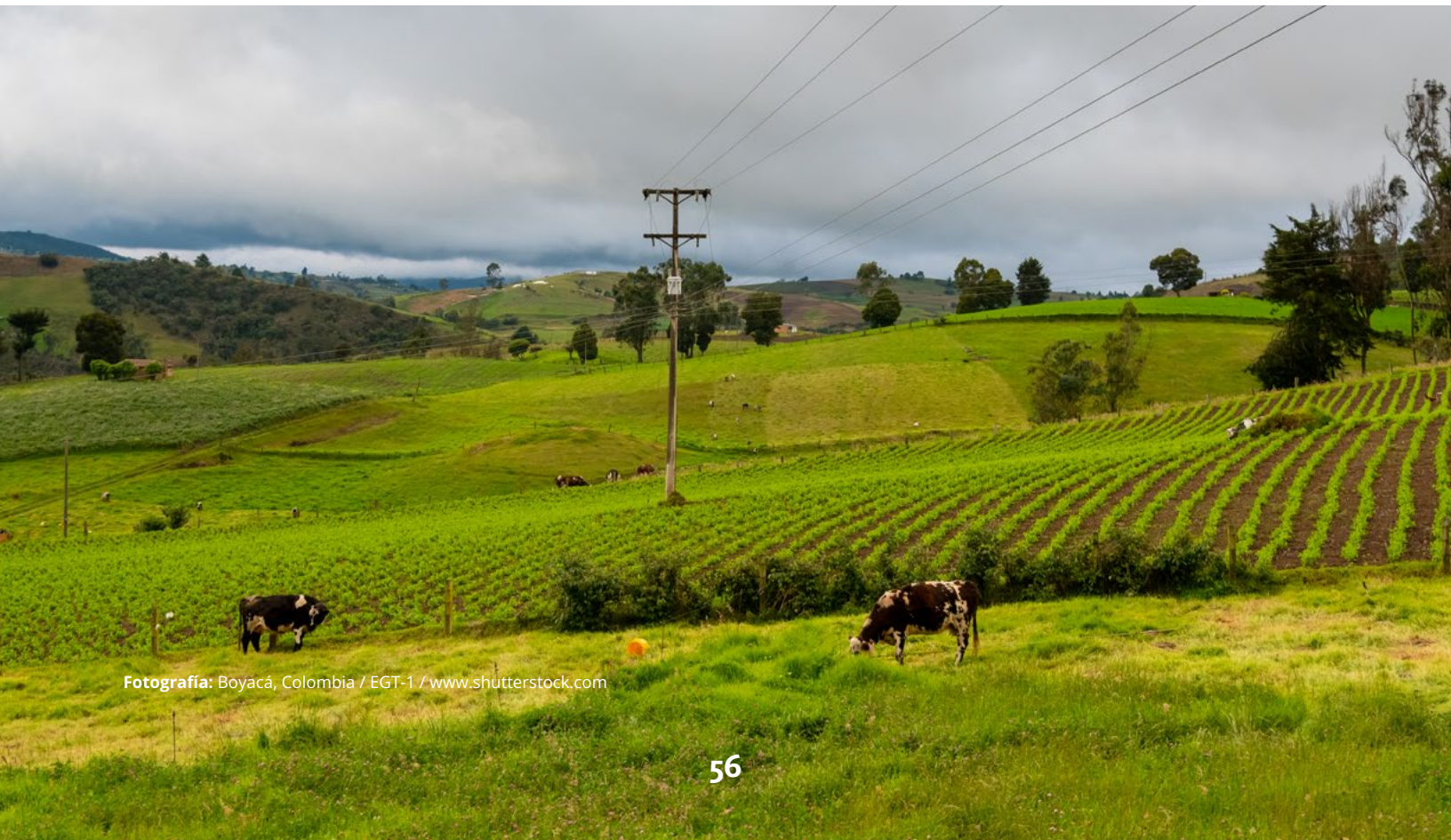
El área de seguridad alimentaria y nutrición abarca 665 demandas de I+D+i, representando el 15,1 % del total de demandas en la Agenda I+D+i. La identificación de estas demandas se realizó de manera explícita, ya que resolver problemas de productividad y competitividad contribuye a mejorar la disponibilidad, estabilidad y acceso a alimentos más competitivos en calidad y precio, beneficiando los ingresos de los productores. Dentro de las 14 áreas temáticas de la



Agenda I+D+i, todas contienen demandas directamente asociadas a la seguridad alimentaria y nutrición. La principal área es el manejo de cosecha, poscosecha y transformación, abarcando el 34,3 % (193 de 562) de las demandas y representando el 29 % de las demandas afiliadas. Le sigue el área de socioeconomía, mercadeo y desarrollo empresarial, con 141 de 552 demandas (25,5 %), equivalente al 21,2 % de todas las demandas afiliadas. También son relevantes las áreas de material de siembra y mejoramiento genético, así como alimentación y nutrición humana y animal.

En cuanto a las cadenas productivas agrícolas y pecuarias, las demandas de I+D+i relacionadas con seguridad alimentaria y nutrición están distribuidas en 42 de las 51 cadenas existentes. No obstante, el 64,8 % de estas demandas se concentra en 10 cadenas, siendo la de hortalizas la principal con aproximadamente el 13,5 % de las demandas afines. Otras cadenas significativas son acuicultura y pesca (9,6 %) y frutales (7,2 %), caracterizadas por su diversidad de especies.

En términos geográficos, los 21 departamentos con información actualizada de la Agenda I+D+i agropecuaria priorizaron entre el 11 % y el 21,7 % de sus demandas en seguridad alimentaria y nutrición. Antioquia se destaca con 89 demandas, representando el 13,4 % y el 21,7 % en el total de su departamento. Las cadenas agropecuarias buscan, en este contexto, mejorar la calidad nutricional y sanitaria de los alimentos, desarrollar productos con valor agregado a partir de subproductos o materias primas existentes, estandarizar procesos de obtención de sustitutos de proteína animal, alimentos funcionales y nutracéuticos, y promover la valorización nutricional de los alimentos. Además, se enfocan en investigar hábitos para estimular su consumo, mejorar procesos de producción, transporte y redes de frío, y proponer modelos que optimicen los centros de abastecimiento para el suministro de alimentos y materias primas, con el acompañamiento de procesos de fortalecimiento de capacidades, extensión agropecuaria y asistencia técnica.





Las estrategias de seguridad alimentaria y nutricional buscan en la actualidad garantizar dietas saludables, con calorías, nutrientes, proteínas adecuadas y de calidad, así como la diversidad de alimentos. Esto, junto con bajos costos, facilitaría el acceso a alimentos, la reducción de costos ocultos y externalidades asociadas con la producción y hábitos de consumo de alimentos. El cambio hacia dietas y hábitos saludables, con un mayor consumo de alimentos de origen vegetal y una disminución gradual de alimentos de origen animal, se presenta como una solución para reducir estas externalidades (FAO, FIDA, OMS, PMA y Unicef, 2020).

En los últimos años, ha surgido un aumento de los mercados alternativos, que se apartan de la lógica de la productividad a gran escala, la estandarización y la industrialización de alimentos. Estos mercados se caracterizan por una conexión más directa entre productores y consumidores, diversidad, intercambio de conocimientos y experiencias, y canales de distribución cortos, como mercados campesinos, ventas directas en la finca asociadas al agroturismo y ventas institucionales, entre otros (Darolt, Lamine, Brandenburg, Alencar y Abreu, 2016). Estos mercados alternativos no solo son espacios de comercialización, sino también lugares para la educación, el ocio, la participación y la interacción entre productores y consumidores, promoviendo así la seguridad alimentaria y nutricional. Los pequeños productores que participan en estos canales de comercialización experimentan una mayor autonomía, mientras que los consumidores obtienen precios más justos y toman decisiones responsables sobre la alimentación (Darolt, Lamine, Brandenburg, Alencar y Abreu, 2016).

En relación con la sostenibilidad ambiental, agroecología, variabilidad y cambio climático, y a partir de la revisión de las 6.019 demandas de la Agenda I+D+i se identificaron 1.167 relacionadas con sostenibilidad ambiental, agroecología, variabilidad y cambio climático, que representan el 19,4 % del total. De las 14 áreas temáticas de la Agenda I+D+i, 13 cuentan con demandas afines, siendo principal el área de Manejo ambiental y sostenibilidad con 70 % de sus demandas afines al tema, seguida de Manejo del sistema productivo (28,2 %). Las demandas de I+D+i afines a este foco se encuentran distribuidas en 49 cadenas productivas agrícolas y pecuarias; no obstante, 10 de ellas concentran el 52,2 % de las demandas afines siendo las principales, hortalizas, frutales, café y acuicultura y pesca. Así mismo, se encuentra que el 75 % de estas demandas se concentra en 11 departamentos, a saber: Antioquia (115 demandas), Meta (113), Cundinamarca (104), Valle del Cauca (88), Córdoba (84), Tolima (63), Casanare (62), Boyacá (54), Norte de Santander (48), Bolívar (47) y Huila (47).

Las demandas relacionadas con este foco están asociadas con el desarrollo y adopción de tecnologías eficientes, el uso de energía renovable, la implementación de prácticas de manejo apropiadas, la prevención, mitigación y adaptación al cambio climático, la zonificación y uso sostenible del territorio, la conservación de coberturas forestales, el uso racional de los recursos naturales, el manejo eficiente del recurso hídrico y edáfico, la disposición adecuada de residuos, el desarrollo de sistemas de riego y tecnologías para el aprovechamiento del agua, la generación de modelos productivos sostenibles, la valoración de los servicios ecosistémicos y la transición hacia modelos de producción agroecológica.



4

Aspectos relevantes de los Focos de Ciencia, Tecnología e Innovación Agropecuaria



En este apartado del documento se pretende abordar aspectos relevantes dentro de cada foco para que el lector pueda complementar el análisis de

contexto realizado. En cada uno de ellos se resumen aspectos y conceptos que permitan fortalecer el abordaje de cada tema.





Agroindustria 4.0

En el contexto colombiano, la agroindustria emerge como un sector estratégico que conecta la producción primaria con la transformación y comercialización de productos agrícolas mediante la aplicación de tecnologías de la cuarta revolución industrial (4RI), también conocida como industria 4.0. Esta revolución industrial facilita una mayor automatización en la producción al implementar nuevas tecnologías que posibilitan la creación de “sistemas inteligentes”. Estos sistemas tienen la capacidad de recopilar, procesar, aplicar y evaluar información con el fin de aumentar la productividad, lograr eficiencias notables en el uso de insumos y alcanzar niveles más altos de sostenibilidad ambiental (Schwab, 2015).

Asimismo, se observa que los avances de la industria 4.0 en la agricultura actual presentan una variedad de herramientas digitales que ofrecen

nuevas estrategias para potenciar la agricultura de precisión, impulsar predicciones y avanzar hacia una Agricultura 5.0. Este siguiente nivel tiene como objetivo posibilitar el funcionamiento autónomo de los sistemas productivos mediante asistentes robots encargados de tareas mecánicas, permitiendo que los seres humanos se centren en el ejercicio de capacidades cognitivas y racionales (Ovalle et al., 2023).

La industria 4.0 incorpora tecnologías emergentes como el *iCloud computing*, la inteligencia artificial, el internet de las cosas (IoT), el *Big Data*, el *Blockchain*, los microservicios soa, los DevOps, las plataformas de ciberseguridad, la realidad aumentada, la plataforma colaborativa, la robótica, los drones e impresión 3D, entre otras (Tejas y Sanjay, 2019). Estas tecnologías se aplican en el sector



agropecuario para impulsar prácticas como la agricultura de precisión y la agricultura regenerativa, entre otras nuevas tendencias en la producción inteligente (Huo et al., 2024; Villagrán et al., 2023).

Bajo estas tendencias, en el sector agropecuario se identifican temas clave con un potencial impacto gracias a las tecnologías de la industria 4.0. Entre estos, se destacan: i) la geoconomía, la biotecnología, el cambio climático y el futuro de la alimentación,

que representan áreas fronterizas para los sistemas globales de alimentación; ii) la economía digital, la inteligencia artificial y robótica, el IoT, la innovación social y la gobernanza ágil para el desarrollo tecnológico e innovación en la alimentación; y iii) la manufactura y producción avanzada, los cambios demográficos, el envejecimiento y las perspectivas de los jóvenes en el sector agropecuario (Corallo, Latino y Menegoli, 2018).



Fotografía: Los Llanos Colombia / Judith Engbers / www.shutterstock.com



Innovaciones tecnológicas en la transformación de la producción agropecuaria

En la actualidad, los impulsores clave para las transformaciones en la producción agrícola y pecuaria incluyen el internet de las cosas, el aprendizaje automático, la utilización de imágenes satelitales y la gestión integral automatizada de las unidades productivas mediante sistemas ciber-físicos. A continuación, se detallan algunas de las principales tecnologías clave (Tejas y Sanjay, 2019).

1 *Blockchain* (cadena de bloques): Esta tecnología se centra en garantizar la seguridad y confiabilidad en la transferencia de volúmenes de datos encriptados, no encriptados y datos particionados (bloques). En el sector agropecuario, esta tecnología implica contratos inteligentes que garantizan la seguridad de los datos durante su tránsito desde el origen hasta el usuario, de forma que aseguren el origen y la legitimidad de cualquier proceso (transacción), así como los datos sobre la calidad de productos perecederos.

2 *Internet of Things* (internet de las cosas): Actúa como una puerta a numerosas posibilidades para el sector al permitir el monitoreo y control remotos de actividades a lo largo de la cadena de valor. Facilita la agricultura de precisión mediante la computación en la nube, donde se almacenan y analizan en tiempo real datos de procesamiento, transporte y mercado. Datos como temperatura, humedad, estado fisiológico, generación de enfermedades y nutrientes son procesados y entregados al tomador de decisiones para

su acción, potenciando la integración entre la realidad y la virtualidad a través de los sistemas ciber-físicos.

3 *Drone Analytics* (analítica de drones): Captura imágenes de alta calidad de los cultivos, en tiempo real y en diferentes etapas. Esto permite acciones correctivas y preventivas como suministro de agua, aplicación de fertilizantes, eliminación de malas hierbas y aplicación de bioinsumos. Los drones desempeñan un papel fundamental en estas funciones.

4 *Big Data Analytics* (analítica de grandes volúmenes de datos): Utiliza técnicas avanzadas para la recolección, almacenamiento y procesamiento de datos en volúmenes masivos y con alta frecuencia de generación. La explotación de datos almacenados a través de algoritmos neuronales permite la previsión y acción.

5 *Agriculture Robots* (robots agrícolas): Su inserción se centra en cualquier eslabón de la cadena de valor, respaldando actividades de producción, procesamiento, distribución y consumo. Algunos ejemplos incluyen brazos robóticos utilizados en agricultura protegida para controlar temperatura, humedad, irrigación y aplicación de nutrientes.

6 *Wireless Remote Sensors* (sensores remotos inalámbricos): Tecnologías como posicionamiento (gps), transmisión de datos por tecnologías móviles (Bluetooth) e identificación de radiofrecuencia (RFID) contribuyen a tener registros en tiempo real e histórico de posiciones y movimientos, lo que permite una trazabilidad integral a lo largo de la cadena de valor.



Capacidades nacionales para la industria 4.0 y la agricultura 4.0

Colombia se encuentra inmersa en el desarrollo de la industria 4.0 y se posiciona como un referente en la región de América Latina y el Caribe para la cuarta revolución industrial. Este avance se materializa en la creación del primer centro regional para la cuarta revolución industrial en Medellín. En este centro, se llevarán a cabo actividades de co-creación, testeo y refinación de protocolos, marcos regulatorios y políticas. El objetivo es maximizar los beneficios y reducir los riesgos asociados con tecnologías de la agroindustria 4.0 tales como la inteligencia artificial, *Blockchain*, internet de las cosas, robótica y ciudades inteligentes.

Las áreas de enfoque del centro abarcan: i) mejora de procesos y eficacia de los organismos de control mediante inteligencia artificial, ii) fortalecimiento de las agencias de seguridad ciudadana mediante inteligencia artificial; iii) reforzamiento de la infraestructura tecnológica de TIC e IoT con un enfoque equitativo, iv) implementación de internet de las cosas para mejo-

rar la movilidad en las ciudades; v) diseño de políticas públicas para el uso de *Blockchain* que reduzcan riesgos en la adopción de tecnologías emergentes para la trazabilidad de información, y vi) desarrollo de políticas que faciliten la integración de tecnologías para el catastro multipropósito. Estas acciones se alinean con las recomendaciones de la Misión Internacional de Sabios (2019), que abogan por la anticipación de grandes empresas al cambio tecnológico, la interacción de la cuádruple hélice (universidades, Estado, empresa privada y sociedad civil), la implementación de agendas de CTI, el empoderamiento de comunidades, la transformación de la educación media y la creación del Centro de Investigación y Desarrollo para las Tecnologías Convergentes y la Industria 4.0 (Cetconi), junto con la integración con institutos de investigación de otros países especializados en tecnologías convergentes e industria 4.0 en los sectores del agro y la bioeconomía.

Este marco de referencia, de proyecciones y perspectivas de la agroindustria 4.0 y su interacción con sectores productivos como el agropecuario, implica conocer las capacidades actuales para afrontar la 4IR.



Grupos de investigación

Se encuentran registrados en la plataforma Scienti, en su módulo de grupos de investigación reconocidos ante MinCiencias, 148 grupos de investigación en el Programa Nacional en Tecnologías de la Información y la Comunicación -TIC y el Programa Nacional en Ingeniería. De estos grupos de investigación, 18 cuentan con proyectos y productos específicos en TIC para el sector agropecuario en áreas como agricultura de precisión y robótica. Complementariamente, la Misión de Sabios abarca unos focos temáticos relevantes para trazar la ruta en el avance de la CTI como motores del desarrollo y la competitividad del país. Para el sector agropecuario, estos focos se relacionan con tecnologías convergentes (nano, info y cognotecnología), industrias 4.0, biotecnología, medio ambiente y bioeconomía, lo que conlleva la inmersión de tecnologías en los procesos productivos del sector agropecuario y, por tanto, repercute en su desarrollo. Por otra parte, los ejercicios de construcción de la Misión de Sabios evidencian que los 148 grupos (13 % del total de grupos de investigación en Colombia) abarcan un total de 1.153 investigadores; sin embargo, un análisis posterior realizado con base en las líneas temáticas de los grupos muestra que otros 120 grupos asignados a áreas de las ciencias básicas, la biotecnología o la salud, están directamente relacionados con tecnologías convergentes o agroindustria 4.0.



Empresas de TIC

Para 2019, El MinTIC y Fedesoft registran 1.525 empresas para el sector de ti, las cuales desarrollan productos específicos. De ellas, 192 se enfocan en desarrollo de software, 119 en computación en la nube, 60 en gestión de datos y 41 en gestión del conocimiento.



Proyectos de CTI financiados por el sistema general de regalías

En la ventana temporal de 2012-2019 se registran 21 proyectos relacionados con TIC, ti y tecnologías convergentes. Se destacan los proyectos de fortalecimiento del Centro de Desarrollo Tecnológico para la Transformación Digital y la Industria 4.0 —en el marco del Ecosistema de Innovación Digital del Valle del Cauca— y de diseño y validación de modelos de analítica predictiva de fenómenos de seguridad y convivencia para la toma de decisiones en Bogotá.



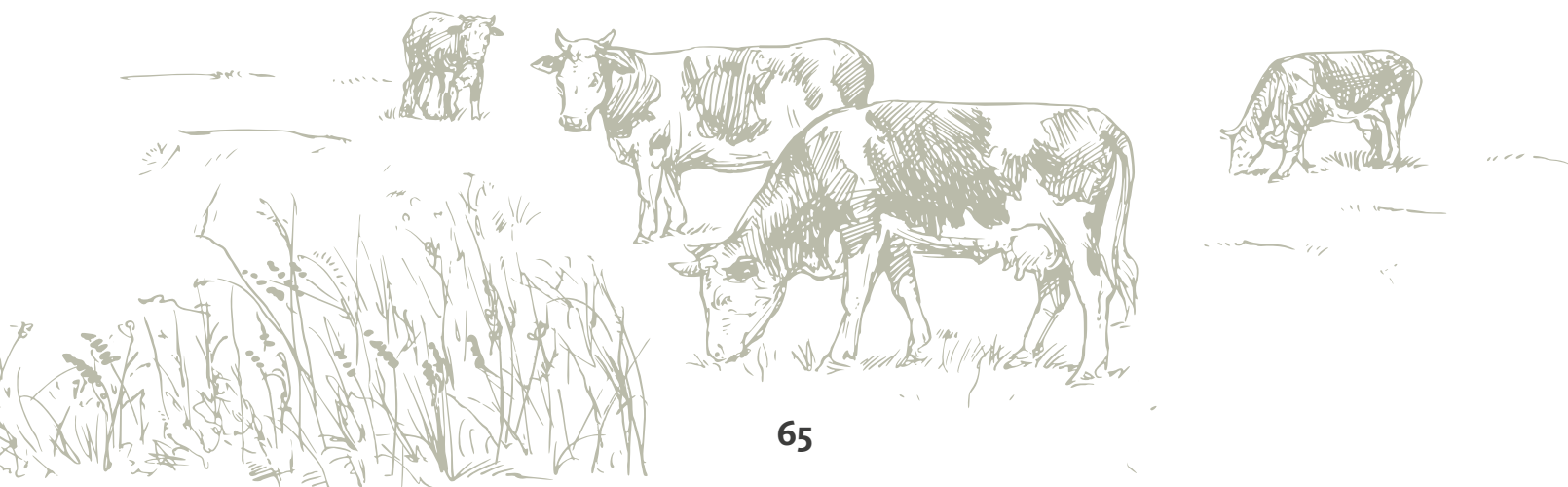
Formación de capacidades

En el Marco Nacional de Cualificaciones, el MEN definió los perfiles para el sector TIC, necesarios para el diseño de programas de formación a todo nivel. Se destacan en el marco de la Industria 4.0 los perfiles:

- 1 Animación 2D y 3D:** Desarrollar representaciones gráficas 2D, modelos, animaciones, espacios y efectos 3D para producciones audiovisuales e interactivas a partir de los parámetros indicados por el productor y/o director artístico.
- 2 Gestión de computación en la nube:** Diseñar, construir e implementar soluciones de computación en la nube que estén alineadas con las necesidades del negocio, así como gestionar los contratos de servicio que soportan la solución.
- 3 Análisis de minería de datos y visualización:** Crear, modelar y manejar representaciones gráficas de datos fundamentando el proceso de interpretación, aplicación y uso de información con técnicas y herramientas a visualizar.
- 4 Desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles:** Construir soluciones de software que involucren tecnologías para dispositivos móviles bajo diferentes plataformas e identificar, implementar, instalar y desarrollar un software enfocado a los dispositivos móviles.



- 5** Diseño de software: Producir un modelo o representación de una entidad a partir del establecimiento de datos, estructura del programa y los detalles procedimentales. Diseñar componentes de software y orientar la adquisición de los componentes de software y hardware necesarios para la implementación de la solución en la entidad, documentando la fase de diseño y garantizando el cumplimiento de los estándares previstos en el proyecto.
- 6** Implementación de sistemas de información geográfica: Gestionar sistemas de información geográfica que cumplan las normas y estándares internacionales para estructurar, crear, publicar y operar información espacial, vectorial y ráster, utilizando técnicas y herramientas tecnológicas hardware/software.
- 7** Análisis de datos masivos (Big data): Integrar grandes volúmenes de información usando mejores prácticas y marcos de trabajo (framework) de datos masivos en componentes de recolección, clasificación, análisis e infraestructura asociada como apoyo tecnológico estratégico en la toma de decisiones en las organizaciones. También contempla minería de datos, seguridad informática, bodegas de datos, servicios de tecnología, infraestructura de ti, operadores de redes de tecnología y computación en la nube.
- 8** Desarrollo de sistemas y soluciones para internet de las cosas (IoT): Desarrollar sistemas y soluciones de internet de las cosas según las necesidades de los sectores productivos, los estándares de calidad del sector y la caracterización del entorno en lo social, político, económico, tecnológico y medio ambiental. Asimismo, crear y gestionar redes de telecomunicaciones, servicios telemáticos y planes de negocio para dicho sistema.





Aplicaciones y tecnologías de la industria 4.0 en Colombia

En Colombia se están llevando a cabo diversas iniciativas relacionadas con tecnologías y aplicaciones de la industria 4.0 en el sector agropecuario. Un proyecto desarrollado por investigadores de la Universidad Nacional de Colombia en colaboración con la empresa Aeropónicos de Colombia implementa un sistema de energía eléctrica en un sistema aeropónico para la producción de alimentos sin la necesidad de pesticidas. Por su parte, la Universidad de Pamplona ha establecido un proyecto para la automatización de una granja de conejos en el municipio de Mutiscua, Norte de Santander (Ovalle et al., 2023).

La Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) ha implementado un sistema para la gestión del riego en el cultivo de cilantro por aeroponía. La Universidad Autónoma de Bucaramanga ha explorado la implementación de tecnologías de IoT para monitorear variables ambientales que afectan la producción hidropónica de cultivos de flores. Asimismo, la Universidad de Antioquia ha diseñado un sistema IoT basado en el protocolo LoRa (*Long Range*) que permite la gestión de cultivos verticales hidropónicos. De esta manera, la Industria 4.0 ha propiciado el diseño e implementación de nuevas tecnologías para el crecimiento y desarrollo del sector agropecuario en el país (Ovalle et al., 2023).

En el ámbito privado, de acuerdo con Ovalle et al. (2023), se han desarrollado las siguientes aplicaciones

1 Waruwa: Diseñada para facilitar la comunicación entre campesinos y productores frutícolas y hortícolas con restaurantes.

2 Agrapp: Es un sitio de inversiones que conecta a productores con inversionistas para llevar a cabo el desarrollo de proyectos productivos.

3 Agrobot: Plataforma digital integral que brinda apoyo al productor agropecuario.

4 Agri: Software de gestión especializado en el sector agrícola que ayuda a los productores a controlar costos, planificar actividades, automatizar procesos y gestionar maquinaria y equipos, además de obtener reportes automáticos desde cualquier dispositivo.

5 Agrodatal: Proporciona una solución digital para que los productores del sector agropecuario sean más productivos y rentables.

Retos y oportunidades futuras

La integración de tecnologías de la Cuarta Revolución Industrial (4RI) en el sector agropecuario implica comprender cómo estas pueden colaborar y generar sinergias con los conocimientos tradicionales para abordar los desafíos prioritarios en investigación, desarrollo tecnológico e innovación (Figura 8).

Este marco de retos y oportunidades lleva a la premisa de lograr una agricultura 4.0 verde, orientada hacia la sostenibilidad, la investigación, el desarrollo y la innovación, adaptada a las necesidades del consumidor que revitalice las cadenas productivas agroalimentarias y promueva una reingeniería sectorial.

La finca tradicional debe transformarse en una finca moderna, que respete el conocimiento tradicional de los productores y lo incorpore a tecnologías como sensores remotos para el control en tiempo real de las variables del cultivo, imágenes aéreas y monitoreo satelital, automatización inteligente de las diferentes fases de la producción primaria, gestión avanzada de insumos agrícolas, aprovechamiento de subproductos y residuos, y bioeconomía circular, entre otros (Yap y Al-Mutairi, 2024; Riaño-Herrera et al., 2023).



Figura 8. Retos para la agroindustria 4.0

Elaborado a partir de Clercq, Vats y Biel (2018).





Fotografía: Sirisak_baokaew / www.shutterstock.com

De acuerdo con De Clercq, Vats y Biel (2018), existen tres grandes tendencias en la agroindustria 4.0: i) producir de manera diferente mediante la implementación de nuevas técnicas y tecnologías como los cultivos hidropónicos, los cultivos de algas y la incorporación de bioplásticos en agricultura, como compostaje en unidades productivas y en ambientes con condiciones adversas como desiertos y océanos; ii) utilizar nuevas tecnologías para llevar el producto al consumidor de manera más eficiente, con mayor calidad y sostenibilidad en la cadena de suministro; explorar nuevas zonas de producción de agricultura vertical y urbana, modificaciones genéticas para diseñar alimentos en laboratorio (por ejemplo, carne cultivada) y tecnologías de impresión 3D para alimentos que utilicen algas como materia prima; y iii) incorporar tecnologías y aplicaciones transversales a la industria 4.0 como el IoT, la automatización de habilidades y de la fuerza laboral, la gestión de datos en unidades productivas, los asistentes virtuales

(*chatbots*), las tecnologías de drones para análisis de suelos, terrenos y siembra, la incorporación de insumos (*crop spraying*), el monitoreo de cultivos en tiempo real, irrigación, evaluación sanitaria; tecnologías de *Blockchain* para gestionar la seguridad en las cadenas de suministro y nanotecnología y agricultura de precisión, así como economías solidarias y cooperativas alimentarias.

Sin embargo, este marco tecnológico afecta a todos los actores involucrados no solo en las cadenas productivas agroalimentarias, sino también a los formuladores de políticas públicas y las entidades que promueven la gobernanza. En este sentido, la gobernanza debe evolucionar siguiendo las mismas dinámicas tecnológicas que garantizan la seguridad alimentaria de cada país y reduzcan la dependencia de importaciones, con lo cual se aumentará la transparencia en los procesos de distribución, se fortalecerá la inversión en I+D y se fomentarán redes de colaboración transnacionales (Tabla 9).

**Tabla 9.** Retos y oportunidades en materia de agroindustria 4.0

Tomado de Flórez, Zambrano y Perdomo (2021).

Tipología	Retos y desafíos	Descriptor
Directos	Estándares de compatibilidad	Garantizar la compatibilidad de equipos y su aplicabilidad en las zonas rurales, procesos de intercambio de datos, procesos de comunicación, enfoque holístico.
	Tamaño de la unidad productiva	Tecnologías apropiadas para la especificidad de la unidad productiva.
	Extensión agropecuaria	Potenciar los servicios de extensión y asistencia técnica, a través de las tecnologías para la transformación digital. Dinamizar redes de trabajo interdisciplinario entre productores, extensionistas e investigadores.
	Apropiación de tecnologías digitales en los productores	<ul style="list-style-type: none"> • Alfabetización y generación de aptitudes-actitudes digitales. • Inversión en capacitación básica y aplicada para el uso de TIC.
	Cultura agroempresarial	<ul style="list-style-type: none"> • Transformación de las empresas existentes a través de las nuevas tecnologías digitales y la creación de nuevas empresas innovadoras. • Generación de incubadoras agrícolas. • Participación en espacios de divulgación científica.
Indirectos	Habilidad para la modernización del Agricultor	Capacidad de los productores de adaptarse, evolucionar y potenciar sus prácticas tradicionales. Acceso a financiación y créditos especializados para transformación digital. Acceso a formación y capacitación para la transformación digital. El acceso sostenible y diferencial a las tecnologías garantiza el impacto sostenible.
	Desarrollo de infraestructura tecnológica/ Cobertura	Infraestructura TIC que permita el desarrollo de la IoT. Ampliación de la cobertura de acceso a internet.
	Características de la familia rural	Alinear las estrategias de adopción acorde con las características etnográficas de las familias rurales (educación, ingresos, distribución de género, tamaño de la familia, etc.).
	Políticas y programas para facilitar la agricultura digital	<ul style="list-style-type: none"> • Políticas de formación y transformación digital • Instrumentos de financiación para la agroindustria 4.0



En el marco de las megatendencias, a nivel internacional se identifican principalmente temas relacionados con las siguientes temáticas: cadena de bloques, internet de las cosas, analítica de drones, Big Data, robots agrícolas y sensores remotos inalámbricos. No se observan capacidades consolidadas en materia de investigación en Colombia en relación con el desarrollo de la agroindustria 4.0. Si bien se pudieron identificar algunos núcleos de información relacionada, como biodiversidad, robots en la agricultura, sistemas forestales y sistemas pecuarios, se esperaría que estas temáticas mostraran una fuerte afinidad con las TIC. En este sentido, en un futuro se podría empezar a revisar estos tópicos generales con más profundidad y determinar si la causa es el bajo desarrollo a nivel nacional de la agroindustria 4.0 o la falta de divulgación científica de los desarrollos tecnológicos incorporados a nivel nacional en el sector.

1 A un mediano plazo se podría ampliar la investigación teniendo en cuenta las necesidades del sector agropecuario en Colombia con el objetivo de identificar tendencias enfocadas a desarrollos tecnológicos de la región y a nivel mundial, de forma que se puedan abordar algunas demandas del sector, como baja producción agrícola, análisis de suelos; manejo y control de plagas y enfermedades, generación de alertas tempranas, gestión del riesgo agroclimático, aseguramiento del mercado de la producción agropecuaria, extensión digital y gestión de bases de datos para la toma de decisiones. Todo esto con el fin de orientar el trabajo en Colombia referente a la inmersión en la agroindustria 4.0.

2 Teniendo en cuenta que los procesos de publicación de las editoriales pueden tardar alrededor de un año en estudios científicos

desarrollados actualmente, es importante tener presente que este estudio no tiene en cuenta las publicaciones que están en desarrollo en el año 2020, puesto que es posible que sean publicadas terminando este año y en el transcurso del año 2021.

3 De acuerdo con contexto nacional, la robótica en la agricultura es una tecnología que se está adoptando en las prácticas agrícolas en Colombia. Esta es la puerta para seguir identificando y adoptando tecnologías como inteligencia artificial, *Machine Learning*, *Blockchain*, robótica, drones o *Big Data* que contribuyan al desarrollo del campo nacional, con el fin de ser competitivos en América Latina.

4 Es necesario definir propuestas estratégicas para robustecer el desarrollo de la agroindustria 4.0 en el país como, por ejemplo: el fortalecimiento de capacidades, el desarrollo de proyectos piloto, el impulso a la innovación, la apropiación de nuevas tecnologías, el consumo sostenible y la tecnología e innovación. Dado que este es un insumo de actualización del PECTIA, debe considerar propuestas concretas para ser validadas con actores clave que permitan definir derroteros a desarrollar en esta materia.





Agrologística

La logística es un aspecto determinante en el desarrollo económico y competitividad de un territorio o región. En ese sentido, y a pesar de que el país ha venido presentando un mejoramiento en los índices de desempeño logístico (Departamento Nacional de Planeación, 2019), todavía persisten condiciones que permiten que las exportaciones sean más rentables que las que operan en el mercado local.

En tal sentido, en el país se han identificado las dificultades que tiene la logística de los productos agropecuarios dado que, según el Ministerio de Transporte (2021), el país cuenta con corredores logísticos carentes de infraestructura apropiada, deficiencias en la operación portuaria, debilidad técnica en el sector del transporte y dispersión de los sistemas de información (Tabla 10).

De acuerdo con la Encuesta Nacional Logística (Departamento Nacional de Planeación, 2018), entre los diferentes sectores de la economía nacional, el costo logístico promedio está situado en el 13,5 %, y en el sector agropecuario es de aproximadamente el 12,8 %. Estos costos tienen un impacto particularmente importante en el sector agropecuario, en el que la tecnificación y la infraestructura están, en general, escasamente desarrolladas (Frimpong et al., 2012).

Es así como se ha observado que el alto costo logístico obstaculiza que los productores agrícolas (en específico, los pequeños y medianos) puedan llegar a ser competitivos en el mercado (Nordmark et al., 2012). Cabe destacar que, en las zonas rurales, los elevados costos y los riesgos del transporte se incrementan debido al mal estado de la malla vial, la ineficiencia de la red y los servicios de infraestructura de transporte (Chakwizira et al., 2010).

Considerando las condiciones del país en materia de competitividad, el gobierno ha establecido la logística como un pilar en el desarrollo económico, para lo cual ha impulsado la Política Nacional Logística (Departamento Nacional de Planeación, 2020) y ha realizado inversiones en infraestructura, gestión de alianzas, y consultorías (MinTransporte, 2021), considerando las particularidades y el potencial socioeconómico de cada región.

Como factor de competitividad, la logística es determinante para hacer más competitiva la producción interna y, por consiguiente, para fortalecer el sector y posibilitar el crecimiento y desarrollo del país. En ese sentido, una logística eficiente agrega valor a los productos y servicios ofertados, lo que genera una ventaja competitiva (Kabak et al., 2020).



En función de lo anterior, la agrologística se erige como la piedra angular de la cadena agroalimentaria, se establece como el eslabón que optimiza la movili-

zación de insumos y productos desde la producción hasta el consumidor final, y garantiza una logística agroindustrial más eficiente y resiliente.

Tabla 10. Perfil de infraestructura, transporte y logística de Colombia

Tomada de Castillo, Ramírez y Moreno (2022).

Tema	Indicador	Valor Colombia	Ranking América Latina
Infraestructura	Calidad de la infraestructura relacionada con comercio y transporte (de 1 a 5).	2,7	7 de 15
	Puntaje en el pilar de infraestructura del IGC-WEF (de 0 a 100).	64,3	9 de 17
	Calidad de infraestructura en el transporte terrestre (de 0 a 100).	39,7	11 de 17
Transporte intermodal y de carga	Infraestructura de servicios públicos (de 0 a 100).	84,9	8 de 18
	Densidad de vías férreas (kilómetros de ferrocarril por kilómetros totales de área).	1,9	7 de 10
	Eficiencia del servicio de trenes (de 1 a 7).	1,7	8 de 17
	Conectividad aeroportuaria (suma del número de asientos disponibles ponderados por los tamaños de aeropuertos del país).	144.423	3 de 17
	Eficiencia del servicio de transporte aéreo (de 1 a 7).	4,5	7 de 17
	Conectividad del transporte marítimo (indica si un país dispone de los medios para el desarrollo del comercio a través de sus propios puertos).	50,1	2 de 16
	Eficiencia de los servicios portuarios (de 1 a 7).	4,1	7 de 17
	Edad promedio de flotas de transporte automotor de carga (en años).	21	13 de 13
Desempeño logístico	Índice de Desempeño Logístico (de 1 a 5).	2,9	5 de 15
	Facilidad de realizar envíos a precios competitivos (de 1 a 5).	3,2	3 de 15
	Competencia y calidad de los servicios logísticos (de 1 a 5).	2,9	5 de 15
	Capacidad de rastrear y seguir envíos (de 1 a 5).	3,1	4 de 15
	Oportunidad con la que los envíos llegan a los destinos en los plazos previstos (de 1 a 5).	3,2	4 de 15



Logística

De acuerdo con la consultora alg citada en la Política Nacional Logística de 2008 (DNP, 2008), se entiende por logística a la manipulación de bienes y servicios que requieren o producen las empresas o los consumidores finales mediante las funciones de transporte, almacenaje y aprovisionamiento o distribución de mercancías. Abarca, además del transporte, la planificación y organización de la carga en toda la cadena de valor como elemento de calidad.

Cadena logística

La cadena logística, también conocida como cadena de abastecimiento, define la secuencia de agentes, funciones y actividades que intervienen en el flujo de bienes, servicios y de información relacionada entre dos o más puntos, desde las materias primas hasta el producto final. Sus actividades tienen alcance en el plano físico, estratégico, organizacional y de información (DNP, 2008) (Figura 9).

Figura 9. Cadena de transporte y cadena logística

Tomada de Castillo-Galindo N. T., Ramírez-Beltrán, A. M., Moreno-Valderrama M. N. (2022).





Agrologística

Cuando la manipulación de los bienes o servicios se desarrolla en el contexto agropecuario, se emplean las expresiones logística agropecuaria, agrologística o logística de la cadena de suministro. Estos conceptos comprenden todas las actividades en la cadena de suministro (cosecha, postcosecha, transformación y comercialización) que son necesarias para adecuar la oferta de productos del campo con la demanda del mercado (MADR, 2020). Una cadena de suministro agroalimentaria comprende organizaciones que son responsables de la producción (agricultores), el procesamiento (industria) y la distribución (proveedores de servicios y comerciantes) de productos de origen vegetal o animal (Banco Mundial, 2014) (Figura 10).

La agrologística gestiona la logística de tres tipos de productos principales: i) *cadena de suministro de productos agrícolas* (como cacao, cereales, café, soya, entre otros) que se comercializan e intercambian en

el mercado abierto y se utilizan principalmente como materia prima para la elaboración de productos alimenticios procesados; (Barrett et al., 2022) ii) *cadena de suministro de productos agrícolas altamente perecederos* (como flores, verduras frescas, pescado, papa, entre otros), que se caracteriza por integrar diferentes actores (productores, intermediarios, subastadores, mayoristas, importadores y exportadores, minoristas, tiendas especializadas y sus proveedores de insumos y servicios) y por mantener las características intrínsecas del producto cultivado o producido en el campo (aunque es usual que se realicen procesos de transformación para maximizar su aprovechamiento); y iii) *cadena de suministro para productos procesados y personalizados de alto valor* (como lácteos y cárnicos), que produce bienes para el extremo superior del mercado y se caracteriza principalmente por las relaciones estrechas entre proveedores y minoristas internacionales con contratos acordados a largo plazo (Banco Mundial, 2014).

Figura 10. Proceso logístico

Tomada de Castillo-Galindo N. T., Ramírez-Beltrán, A. M., Moreno-Valderrama M. N. (2022).





La agrologística es un proceso funcional a la cadena de valor que involucra (MADR, 2020):

- 1 Procesos logísticos:** Entendidos como la serie de actividades que se les realiza a los bienes agrícolas en función de un requerimiento, pueden darse por la naturaleza del producto, la normatividad que le aplica, el mercado al que se dirige y las exigencias del consumidor.
- 2 Infraestructura logística:** Se refiere a los activos o recursos de infraestructura y áreas físicas requeridas para el desarrollo de los procesos logísticos.
- 3 Servicios logísticos:** Actividades desarrolladas por un tercero a lo largo de la cadena logística con el fin de adecuar y hacer llegar el producto de acuerdo con el requerimiento del cliente o consumidor final.
- 4 Actores del proceso logístico:** Son los agentes que interactúan en la cadena de suministro, representados en los proveedores, los productores, los prestadores de servicios logísticos y los compradores finales o intermedios.

Intermodalidad

Se refiere a la inclusión de al menos dos modos de transporte diferentes en el movimiento de mercancías desde un origen hasta un destino (Bektas y Crainic, 2007, citados por DNP, 2020) De acuerdo con la Política Nacional Logística vigente, los modos de transporte comprenden la infraestructura especializada para el tránsito de medios en el espacio aéreo, terrestre y acuático. El modo aéreo incluye la infraestructura aeronáutica y aeroportuaria; el modo terrestre, la in-

fraestructura de carretera, férrea y por cable; y el modo acuático, la infraestructura marítima, fluvial y lacustre. Asimismo, los medios de transporte hacen referencia a los vehículos utilizados, como aeronaves, camiones, automóviles, trenes, cables aéreos, bicicletas y embarcaciones que movilizan carga y pasajeros (DNP, 2020).

Corredor logístico

Elemento que articula integralmente orígenes y destinos en aspectos físicos y funcionales como los flujos de información y comunicaciones, la infraestructura de transporte y las prácticas tanto comerciales como de facilitación del comercio (Banco Mundial, 2006 citado por DNP, 2008). En Colombia, los corredores logísticos que unen los principales centros de producción con los de consumo interno o con los nodos de transferencia de comercio exterior (puertos, aeropuertos y pasos de frontera) están estrechamente relacionados con el patrón de desarrollo vial, aunque incluyen los diferentes modos de transporte por los que se distribuye la gran mayoría de la carga de comercio interno y externo (DNP, 2008).

Facilitación del comercio

La facilitación del comercio es definida por la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa como la simplificación, estandarización y armonización de los procedimientos y los flujos de información necesarios para la movilización de mercancías del vendedor al comprador y su respectivo pago (Cepe, 2018, citado por DNP, 2020). A su vez, está sustentada en cuatro principios fundamentales: transparencia, simplificación, armonización y estandarización (DNP, 2020).

Lo anterior implica que, además de los gobiernos, las diversas entidades relacionadas con actividades de comercio y transporte de mercancías están involucradas en la facilitación del comercio (DNP, 2020).



Fotografía: SALMONNEGRO-STOCK / www.shutterstock.com

Plataforma logística

Según *Europlatforms*, es una zona delimitada en la cual se realizan las actividades relativas al transporte, la logística y la distribución de mercancías por parte de diferentes operadores para el tránsito nacional e internacional (DNP, 2008). Los servicios que prestan pueden estar dirigidos hacia la carga, los vehículos, las personas o empresas y asuntos generales de seguridad. Las plataformas logísticas se clasifican internacionalmente según sean monomodales, de intercambio modal o multimodales en: nodo de abastecimiento/mayorista, centros de transporte terrestre, área logística de distribución, centros de carga aérea, zonas de actividades logísticas portuarias (ZAL), puertos secos y zonas logísticas multimodales (DNP, 2008).

Sistema Logístico Nacional

El Sistema Logístico Nacional hace referencia a la sinergia de los involucrados en la adquisición, el movimiento, el almacenamiento y el control de las mercancías, así como a todo el flujo de información asociado a través del cual se logra encauzar rentabilidad presente y futura en términos de costos

y efectividad en el uso, prestación y facilitación de servicios logísticos y de transporte (Ferrel y Franklin, citados por DNP, 2008).

Hacen parte del Sistema: i) el sector productivo, que demanda servicios acordes con su productividad y con precios razonables que contribuyen a la inserción de los productos en sus mercados objetivos; ii) prestadores de servicios de transporte, almacenamiento e inventariado con capacidad para ofrecer calidad en condiciones razonables de rentabilidad mediante la innovación y adopción de mejores prácticas; y iii) el Estado, cuya función es crear el entorno regulatorio para optimizar el funcionamiento de las relaciones, promover mecanismos óptimos para el control de las mercancías y facilitar el comercio exterior colombiano, así como “proveer infraestructura de transporte y tecnologías de la información y las comunicaciones con la calidad y capacidad (actual y futura) para soportar las expectativas del crecimiento de los flujos de intercambio de bienes” (DNP, 2008).

Agrológica en el contexto nacional

A continuación, y de manera resumida, se presentan las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas que conforman el contexto agrológico nacional.



Debilidades

- 1 Bajas capacidades de las entidades de gobierno en los procesos de articulación entre los actores públicos y privados.
- 2 Baja disponibilidad del capital humano adecuado para desarrollar actividades logísticas, en particular de transporte y carga.
- 3 Limitaciones normativas e inobservancia de la dimensión logística para promover el desarrollo sectorial y territorial.
- 4 Desconocimiento de los conceptos básicos y del abordaje de los procesos de planeación y operación logística por parte de productores y técnicos.
- 5 Baja incorporación de la dimensión logística en los servicios de asistencia técnica y de extensión agropecuaria soporte de las cadenas agropecuarias en las que apenas se empiezan a abordar conceptos diferentes a los productivos.
- 6 Precariedad en las vías terciarias que conectan con corredores logísticos debido a limitaciones de inversión en la infraestructura de conectividad.
- 7 Débil infraestructura de agregación de valor (activos agrologísticos) relacionada con problemas de ubicación, capacidad y cumplimiento de la normativa técnica, sanitaria y de estándares de mercado.
- 8 Débil gestión y gobernanza de la información base para la toma de decisiones de política y para promover soluciones logísticas adecuadas y coherentes con la realidad del país.
- 9 Dispersión de información logística para el sector agropecuario, bajo uso de herramientas TIC y necesidad de desarrollar procesos de transformación digital, tanto públicos como privados.
- 10 Desconocimiento de los requerimientos logísticos de las cadenas agropecuarias.

Oportunidades

- 1 Acceso a mercados de nicho si las cadenas de suministro se especializan de acuerdo con las exigencias en materia de sostenibilidad y calidad.
- 2 Aportar a la competitividad del país a través del mejoramiento de la eficiencia en las cadenas de suministro.
- 3 En Colombia se ha dado importancia a la conformación y fortalecimiento de clústeres productivos, así como a la articulación de sus actores para producir y comercializar bienes cada vez más sofisticados.
- 4 La Agenda I+D+i agropecuaria identifica necesidades puntuales de las cadenas en logística, lo que estimula la investigación con el fin de buscar soluciones a los problemas e incrementar la competitividad en el sector agroindustrial.

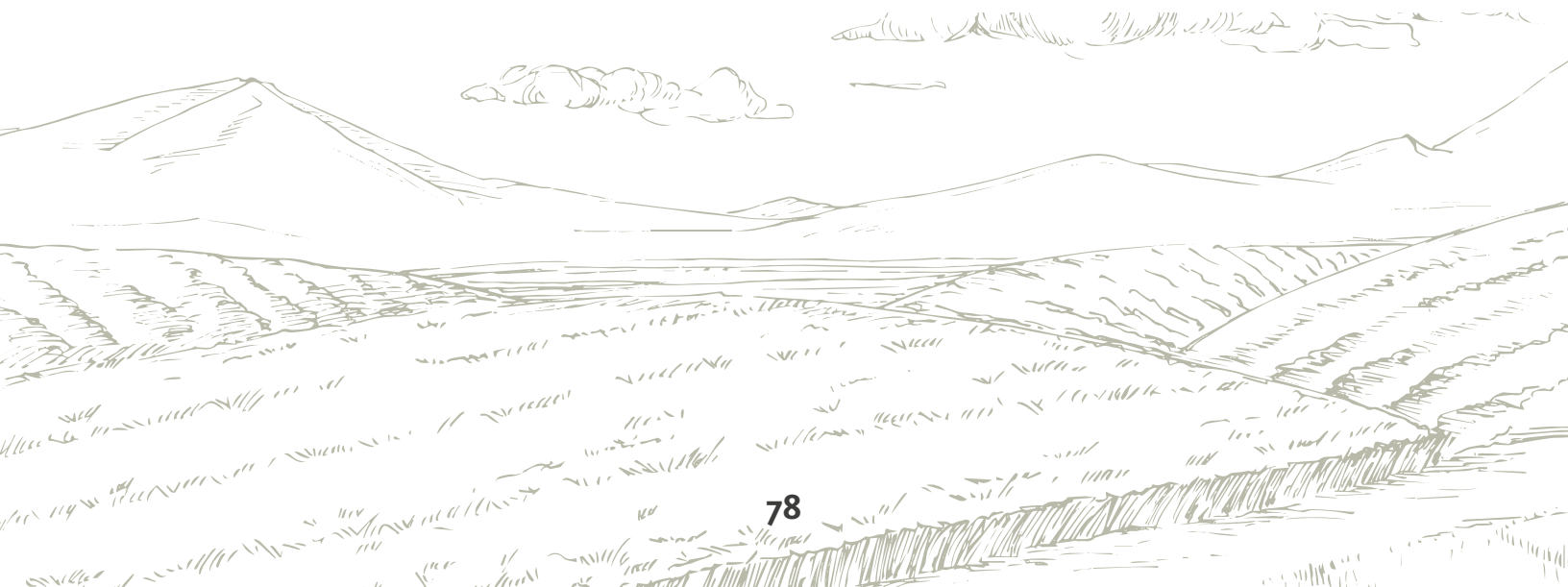


Fortalezas

- 1 El país cuenta con un marco político y normativo en logística vigente, actualizado y alineado con las prioridades del gobierno nacional, en el cual se acepta la importancia de la agrologística en el desarrollo de la economía del país.
- 2 El plan para ejecutar la política de reactivación, repotenciación y crecimiento sostenible e incluyente, expedida en 2021, asigna recursos específicos al sector transporte por más de 57,24 billones de pesos (42,4 % del presupuesto de dicha política) para invertir en todas las regiones del país (DNP, 2021).
- 3 El sector agropecuario cuenta con el Plan Nacional de Agrologística elaborado de acuerdo con las recomendaciones y los compromisos establecidos en la Política Nacional Logística (CONPES 3982 de 2020).
- 4 El país cuenta con herramientas de información logística como el Observatorio Nacional de Logística, Transporte, Minas y Energía (ONL), a través del cual se pueden desarrollar procesos analíticos que permitan soportar los procesos de planeación en las cadenas de suministro agropecuarias y tomar decisiones para la atención de los principales desafíos de la agrologística.

Amenazas

- 1 Bloqueos y problemas sociales que afectan los procesos agrologísticos.
- 2 Continuidad de la pandemia y la posible necesidad de establecer una nueva cuarentena debido a la aparición de nuevas variantes y picos de contagio, lo que dificulta el desarrollo de las operaciones agrologísticas y la adecuación de infraestructura de transporte.





Bioeconomía

El término bioeconomía aparece por primera vez en 1977 con Nicholas Georgescu-Roegen. Hace referencia al desarrollo de una teoría que integra las limitaciones sociales, económicas y biofísicas, y resalta la importancia de considerar en todo el proceso económico la existencia limitada de recursos y las dificultades que se presentan con respecto a la accesibilidad y la desigualdad en su adquisición —*The Evolution of Georgescu-Roegen's Bioeconomics*— (Gowdy y Mesner, 1998).

La bioeconomía se establece entonces como un programa que evita la disminución de los recursos no renovables, resalta la importancia del uso de energías alternativas (como el consumo sostenible, entre otros) y abarca sectores como la agricultura, la silvicultura, la pesca y demás actividades de transformación de los recursos biológicos (Bioeconomy, 2021).

Existen consorcios a nivel global como el German Bioeconomy Council, entidad independiente del Gobierno Federal Alemán, que tiene como fin la creación de la estructura, tanto económica como política, para la economía de base biológica; también apoya la inves-

tigación y el desarrollo basados en el conocimiento, con el fin de llegar a las distintas partes interesadas de la sociedad (Comisión Europea, s.f.).

Una de las alianzas estratégicas más relevantes alrededor de este tema es la Alianza Global de Bioeconomía (*Global Bioeconomy Alliance*), formada por la *Technical University of Munich* (TUM) en Alemania, la *University of Queensland* (UQ) en Australia y la *Universidade Estadual Paulista* (Unesp) en Brasil. Su finalidad es fortalecer la cooperación en investigación y educación en proyectos comunes gracias a la experiencia de las tres universidades en el área de bioeconomía. Dado que este es un tema de interés global y que impacta los aspectos agrícolas, técnicos y sociales, esta alianza busca disminuir los errores y las fallas en su implementación y transferencia.

Como producto de la ubicación de las universidades, es posible analizar y favorecer el desarrollo de la bioeconomía global, puesto que están en la capacidad de abarcar distintos niveles de implementación en las zonas de influencia (*Global Bioeconomy Alliance*, s.f.). Los principales temas de investigación de la alianza se reúnen en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Temas relacionados con bioeconomía abordados por las universidades del Global Bioeconomy Alliance

Tomada de Ramírez, Jiménez y Santana (2022).

Universidad	Tema de investigación
TUM	Materiales biogénicos.
	Biotecnología.
	Energía renovable.
	Productos químicos y procesos sostenibles.
	Ciencias económicas.
UQ	Nanotecnología y bioingeniería.
	Alimentación segura y saludable.
	Recursos renovables.
	Ingeniería de bioprocesos.
UNESP	Bioeconomía y sostenibilidad del agua.
	Bioeconomía y sostenibilidad alimentaria.
	Bioeconomía y sostenibilidad energética.

Otros interesados han sido los países miembros del G20, que han discutido sobre políticas de bioeconomía como una estrategia de desarrollo. Dentro de este proceso se identifica la contribución de la bioeconomía a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y los correlacionan según lo presentado en la Tabla 12.

Estas contribuciones tienen como fin fortalecer el apoyo a las estrategias de base biológica y potenciar los beneficios de la bioeconomía a nivel mundial, haciendo frente a los nuevos retos debido al agotamiento de los recursos naturales y a los impactos generados por coyunturas globales como la pandemia ocasionada por el sars-Cov2 (COVID-19) y la guerra entre Rusia y Ucrania.

En el caso de América Latina y el Caribe, un estudio de la CEPAL (2017) muestra que la bioeconomía apoyada en distintas tecnologías, como la biotecnología, la nanotecnología y las TIC, se convierte en uno de los mejores elementos para el aprovechamiento de los recursos y agregación de valor a la producción. Actualmente, el desarrollo de agroindustrias biológicas representa una alternativa al agotamiento de los recursos como la industria energética, en la que la producción de energías renovables no convencionales abre paso a nuevos campos de innovación como la energía solar, la producción de biogás y bioenergía a partir de residuos, entre otros (CEPAL, 2017).



Tabla 12. Estrategias de la política de bioeconomía a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Tomada de Ramírez, Jiménez y Santana (2022).

Potencial contribución	ODS relacionados
Modelos productivos que aprovechan la ciencia y la tecnología para utilizar los recursos biológicos de forma sostenible y eficiente para hacer sustitutos de petroquímicos (por ejemplo, bioplásticos, bioenergía, biofertilizantes) o para suplir las nuevas demandas de los consumidores y enfrentar los retos globales.	<p>ODS 2: Producción alimentaria sostenible.</p> <p>ODS 3: Buena salud y bienestar.</p> <p>ODS 7: Energía limpia y asequible.</p> <p>ODS 9: Industria e innovación.</p> <p>ODS 13: Acción por el clima.</p>
Prácticas productivas que contribuyan a la sostenibilidad ambiental y la resiliencia al tiempo que se agrega productividad y eficiencia.	<p>ODS 13: Acción por el clima.</p> <p>ODS 15: Vida en tierra.</p>
Sistemas de producción de economía circular a través del uso productivo de la biomasa residual derivada de la producción y procesos de consumo.	<p>ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles.</p> <p>ODS 12: Consumo responsable y producción.</p>
Investigación y desarrollo en sistemas para replicar procesos y ciclos observados en la naturaleza.	<p>ODS 9: Industria e innovación.</p> <p>ODS 14: Uso sostenible de la biodiversidad del agua submarina.</p> <p>ODS 15: Uso sostenible de la biodiversidad de la tierra.</p>
Investigación en procesos de biorremediación para la mitigación de la contaminación ambiental (p.e, degradación de suelos o contaminados y tratamiento de agua para consumo humano y residuales).	<p>ODS 6: Agua potable y saneamiento.</p> <p>ODS 15: Prevención de la degradación del suelo.</p>
Incremento de la densidad económica de los territorios rurales con innovación, industrialización y uso local de biomasa para la generación de bioproductos y bio servicios.	<p>ODS 8: Nuevas fuentes de trabajo decente y sostenible de crecimiento económico.</p>



Es de resaltar que Colombia se encuentra en el listado de países del mundo que cuentan con estrategias relacionadas con la bioeconomía y que ha venido trabajando en términos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación (I+D+i) en enfoques como: a) aplicaciones biotecnológicas; b) bioenergía y bioproductos; y c) mejoras en la eficiencia de las cadenas de valor agroalimentarias. Asimismo, cuenta con entes institucionales y marcos políticos de innovación, políticas de desarrollo sostenible y una línea de incentivos para el desarrollo y promoción de la bioeconomía (CEPAL, 2017).

Misión Internacional de Sabios y Misión de Bioeconomía de Colombia

En 2019, Colombia desarrolló una estrategia para los avances en ciencia, tecnología e innovación denominada Misión Internacional de Sabios. De acuerdo con ella, *“la bioeconomía se constituye como el marco conceptual y político, así como el soporte del desarrollo socioeconómico sostenible de Colombia con enfoque territorial, mediante el uso de las biotecnologías que agreguen alto valor a la extraordinaria biodiversidad del país”*. Se enfoca en la utilización, producción y conservación de recursos biológicos, a la vez que en la generación de conocimiento en ciencia, tecnología e innovación; además, asocia elementos claves para todos los sectores productivos y procura la conversión hacia economías sostenibles (Misión Internacional de Sabios, 2019).

De igual manera, integra elementos importantes que son tenidos en cuenta por la Política Nacional de Crecimiento Verde (CONPES 3934 de 2018) y por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), como la gestión y sostenibilidad de la biodiversidad y el uso de biomasa en la innovación de productos de valor agregado.

De acuerdo con el Gobierno de Colombia (2020), el país viene siendo reconocido por su potencial en biodiversidad y tiene los elementos necesarios para ser líder en la promoción de una bioeconomía al contar con cerca del 50 % de territorio marino, más de 300 ecosistemas continentales, aproximadamente 60 mil especies identificadas y 30 millones de hectáreas de zonas protegidas con la mayor cantidad de especies de aves y orquídeas. Además, es el segundo país más diverso en especies de anfibios, plantas y mariposas, el tercero más rico en palmas y reptiles, y el cuarto más variado en mamíferos a nivel mundial. Con base en ello, la Misión Internacional de Sabios estableció metas y objetivos a través de programas y proyectos enfocados en la bioeconomía, que a la vez se cruzan con temas identificados en el PECTIA, como la sostenibilidad ambiental, la seguridad alimentaria, el aprovechamiento de la biodiversidad, la agrologística y el acceso a recursos genéticos, entre otros (Tabla 13).

Como producto de las recomendaciones derivadas de las políticas mediante el CONPES 3934, de la Misión Internacional de Sabios en 2019 y del trabajo realizado por la Mesa de Bioeconomía del Comité Técnico Mixto de Sostenibilidad del Sistema Nacional de Competitividad e Innovación (SNCI) conformado por un grupo interministerial e intersectorial en 2020, nace ese mismo año en Colombia la Misión de Bioeconomía bajo un modelo de políticas establecidas por Mazzucato (2018).

La Misión de Bioeconomía busca soluciones al gran reto de *“generar crecimiento sostenible con el propósito de que esta sea un motor de crecimiento empresarial que constituya el 10 % del pib en 2030”* (Gobierno de Colombia, 2019). Para ello, definió como objetivo *“potenciar el desarrollo socioeconómico del país, desde y para las regiones, a través de la gestión eficiente y sostenible de la biomasa, la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos para la generación de productos y procesos de alto valor agregado mediante la ciencia, la tecnología y la innovación”* (Gobierno de Colombia, 2020).

**Tabla 13.** Metas propuestas por la Misión Internacional de Sabios 2019

Tomada de Ramírez, Jiménez y Santana (2022).

Área	Programas misión de sabios	Proyecto país propuesto	Sendero de bioeconomía	Meta misión de sabios	Tiempo
Agricultura	Agricultura sostenible y generadora de productos para la agroindustria.	Agricultura 4.0.	Ecointensificación para la agricultura sostenible.	Duplicar la participación de la agricultura en el PIB hasta el 13.4 %.	2030
	Incorporar avances de CTI para la modernización tecnológica sostenible del sector agroindustrial.				
Salud	Nueva revolución industrial y manufacturera.	Autonomía Farmacéutica.	Aplicaciones biotecnológicas (productos y procesos).	Duplicar el número de medicamentos esenciales en el país, diez (10) medicamentos fitoterapéuticos o productos biológicos.	2030
	Desarrollo de capacidades para producir medicamentos esenciales para la salud pública.				
	Desarrollo de sectores industriales basados en la Química Verde a través de la agroindustria y la convergencia de tecnologías.				
Industria	Nueva revolución industrial y manufacturera.	Biorrefinería de residuos agroindustriales.	Biorrefinerías y bioproductos.	Cinco biorrefinerías.	2030
	Desarrollo de sectores industriales basados en la Química Verde a través de la agroindustria y la convergencia de tecnologías.				



Área	Programas misión de sabios	Proyecto país propuesto	Sendero de bioeconomía	Meta misión de sabios	Tiempo
Energía	Agricultura sostenible y generadora de productos para la agroindustria.	Biomasa con fines energéticos.	Eficiencia en las cadenas de valor. Biorrefinerías y bioproductos.	Aumentar el % del uso de biomasa sólida y líquida para obtención de Energía del 9 % al 15 %.	2030
	Programa de investigación para la conservación de la Biodiversidad.	Colombia BIO 4.0 + Química Verde+.	Aprovechamiento valoración y conservación sostenible de los recursos de la biodiversidad.	A partir de 2020 convocatorias de bioprospección por sector productivo.	2020
Biodiversidad	Colombia BIO 2.0 y Colombia cultural.	Bioeconomía Azul.	Servicios Ecosistémicos.	A partir de 2020 convocatorias para transferencia de conocimiento con enfoque biotecnológico.	2020
	Pesca y acuicultura responsable.			Mapa completo de zonas intangibles para la investigación del mar profundo.	2025

Para el cumplimiento de su objetivo, la Misión de Bioeconomía propone trabajar alrededor de cinco grandes desafíos, involucrando a su vez aspectos de gobernanza y regionalización e incentivos para la financiación y la inversión. Las áreas y desafíos son las siguientes, (Gobierno de Colombia, 2020), que a su vez se presentan en la Figura 11:

- 1 Biodiversidad y sus servicios ecosistémicos.** Aprovechamiento de la biodiversidad continental y oceánica para un desarrollo sostenible.
- 2 Colombia biointeligente.** Colombia inteligente que comprende y sofisticada el uso de la biodiversidad.
- 3 Agro productivo y sostenible.** Agro productivo y sostenible que construye tejido social.
- 4 Biomasa y química verde.** Biomasa 100: más valor, cero desperdicios.
- 5 Salud y bienestar.** Tecnologías avanzadas para la salud y el bienestar.



Figura 11. Áreas estratégicas y productos y procesos propuestos por la Misión de bioeconomía para Colombia

Tomada de Ramírez-Beltrán, A. M., Jiménez-Guzmán A. M., Santana-Medina J. J. (2022).





Como consecuencia de lo anterior, MinCiencias expidió en 2021 la Resolución 0792 por la cual se dictamina el inicio de la convocatoria para los programas y proyectos de I+D+i que contribuyan a la misión de *“bioeconomía para una Colombia potencia viva y diversa hacia una sociedad impulsada por el conocimiento”*. En ella se busca desarrollar actividades de investigación científica y desarrollo tecnológico, difusión científica y tecnológica, proyectos de innovación, transferencia tecnológica y cooperación científica y tecnológica (MinCiencias, 2021).

La Misión de Bioeconomía determina líneas de acción estratégicas y de mercados con metas a corto y mediano plazo (Tabla 14), con un horizonte de acción estipulado en cinco (5) momentos:

- 1** **2020:** Arranque. Lanzamiento de la misión y estrategia, definición de responsabilidades e inicio de proyectos dinamizadores.
- 2** **2022:** Fortalecimiento. Fortalecimiento de capacidades y apalancamiento de recursos financieros.
- 3** **2026:** Consolidación. Crecimiento del mercado nacional e internacional y contribución a los ODS.
- 4** **2030:** Expansión. Bioeconomía sostenible conectada globalmente.
- 5** **2050:** Connaturalización. Apropiación masiva de la bioeconomía en todos los sectores productivos.



**Tabla 14.** Metas clave para la bioeconomía al año 2030-2050 en Colombia

Tomada de Ramírez, Jiménez y Santana (2022).

Metas Globales	Valores	Año
PIB	10 % del PIB proviene de bioeconomía.	2030
Exportaciones	Duplicar las exportaciones (junto con economía creativa).	2030
Empleo	Crear 10.000 nuevos puestos de trabajo.	2030
Cambio climático	Disminuir al 50 % del valor actual riesgos asociados a cambio climático.	2030-2050
	Actualización de los planes de adaptación y mitigación al cambio climático y al cambio ambiental global.	2030
Vertimientos y disposición de residuos sólidos y líquidos	Reducción al 80 %.	2022
PIB sectorial	Duplicar participación en la industria manufacturera hasta llegar al 24 %.	2030
	Duplicar la participación de la agricultura en el PIB hasta el 13,4 %.	2030
Energía	Aumentar del 9 % al 15 % el uso de biomasa sólida y la líquida en la producción de energía.	2030
Creación de empresas	Cinco empresas de base tecnológica para transición energética.	2030
	Cinco biorrefinerías.	
	Triplicar las empresas de terapias avanzadas.	2030
	Desarrollar industrias de instrumentación médica.	
Ciudades	Cinco ciudades inteligentes y sostenibles.	2030
Salud (Medicamentos)	Duplicar el número de medicamentos esenciales.	2030
	Diez (10) medicamentos fitoterapéuticos o productos biológicos.	2030



Sanidad, fitosanidad e inocuidad

La creciente demanda de alimentos a nivel mundial plantea un desafío para las industrias agrícolas y pecuarias que deben producir alimentos de buena calidad, en las cantidades necesarias y a un precio asequible. Para ello, se han venido utilizando diferentes sustancias como promotores de crecimiento animal, que mejoran la capacidad productiva de los animales, y antibióticos, que tratan o previenen enfermedades bacterianas (Schneider et al., 2023).

Uno de los principales ejemplos es el uso de antibióticos en la producción animal, ya que son esenciales para el buen desarrollo productivo de la industria. Sin embargo, en las últimas décadas se ha observado un aumento dramático de la resistencia a los antibióticos en bacterias de importancia médica y veterinaria. Esta se debe, en parte, al uso excesivo y descontrolado de antibióticos en los animales. La acumulación de residuos de antibióticos en los productos cárnicos de consumo humano puede generar riesgos para la salud de los consumidores, como el desarrollo de resistencia a los antibióticos, problemas de hipersensibilidad, toxicidad aguda, efectos mutagénicos y carcinogénicos (Arsène et al., 2022).

Para asegurar la inocuidad de los alimentos, la ciencia ha desarrollado metodologías para la detección de los residuos de antimicrobianos en alimentos de origen animal. Estas metodologías se basan en técnicas de análisis cuantitativo y microbiológico que se han venido perfeccionando para mejorar su sensibilidad y especificidad. Adicional al uso de antibióticos, otras problemáticas asociadas con la sanidad e inocuidad se continúan presentando en la industria, lo que implica una pérdida en la competitividad en los mercados nacionales e internacionales (Ramírez et al., 2022).

En Colombia se ha respondido a los diversos desafíos que representa la inocuidad de alimentos y se han conseguido avances importantes en el tema, uno de los cuales fue la aprobación de la Política Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad de Alimentos para el Sistema Nacional de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias (documento CONPES 3375) en 2005. En esta política se establecieron los lineamientos y estrategias para mejorar el estatus sanitario de la producción agroalimentaria nacional. A pesar de ello, el Gobierno es consciente de la importancia



de continuar fortaleciendo el sistema nacional de control de alimentos en virtud de la gestión de los peligros alimentarios y consigue, igualmente, la integración de los actores de las cadenas productivas —especialmente de los pequeños productores— por medio de la implementación de sistemas de gestión de la inocuidad (Bruno y Fuentes, 2021).

Por otro lado, también es importante destacar que una limitante para que Colombia alcance los rendimientos y productividad esperados está relacionada con la sanidad del cultivo, además de otros factores como el clima, las condiciones del suelo, entre otros. En ese sentido, la adecuada gestión de la sanidad y la inocuidad reduce las brechas de productividad en función de las exigencias sanitarias. Es así como hacer uso de las tecnologías emergentes en los diferentes campos del conocimiento puede hacer frente a las dificultades sanitarias que garantizan la sanidad, fitosanidad e inocuidad de la producción agrícola y pecuaria del país (Romero, 2021).

La Organización Mundial del Comercio (OMC) desempeña la función de establecer las reglas que rigen el comercio internacional a través de acuerdos que definen pautas generales para los países en cuanto a estándares comerciales. Dentro de estos acuerdos se incluyen las Medidas Sanitarias y Fitosanitarias (msf), las cuales tienen como objetivo la implementación de regulaciones en materia de seguridad alimentaria y control sanitario de animales y vegetales. Las medidas sanitarias se centran en la protección de la salud humana y animal, mientras que las fitosanitarias buscan preservar la salud de los vegetales. Esto implica que se ejerce control tanto a nivel local como internacional sobre productos alimenticios de origen vegetal o animal (OMC, s.f.).

La relevancia de las msf radica en la necesidad de asegurar el acceso a alimentos seguros y nutritivos para mantener la salud de las personas. Más de 200 enfermedades son causadas por microorganismos y sustancias químicas presentes en los alimentos, que van desde infecciones leves hasta enfermeda-



des graves como el cáncer. Se estima que alrededor del 10 % de la población contrae enfermedades por consumir alimentos contaminados, resultando en 420,000 muertes anuales por esta causa (Thakali y MacRae, 2021; Alengebaw y et al., 2021).

La conexión directa entre la seguridad alimentaria, la nutrición y la inocuidad de los alimentos es evidente, ya que los alimentos en mal estado pueden generar enfermedades y malnutrición, especialmente en grupos vulnerables como lactantes, niños pequeños, adultos mayores y enfermos. Estas enfermedades ejercen presión sobre los sistemas de salud, afectan el desarrollo económico, el turismo y el comercio, creando un círculo vicioso que requiere medidas adecuadas por parte de los países, independientemente de su nivel de desarrollo económico y social (OMS, 2020).

A nivel regional, la Comunidad Andina de Naciones (CAN) cuenta con el Sistema Andino de Sanidad Agropecuaria (SASA) que, en el ámbito de la sanidad animal, busca proteger la salud animal y pública para facilitar la comercialización de animales y sus derivados. En el ámbito de la sanidad vegetal, se enfoca en medidas fitosanitarias, plagas de interés, registro de plaguicidas químicos y actividades en foros internacionales (can, s.f.).



Como miembro de la CAN, Colombia sigue las directrices del SASA. Además, mediante la Ley 170 de 1994, adoptó la adhesión al acuerdo de la OMC sobre msf. A través del Decreto 1985 de 2013, se establece que la Dirección de Innovación, Desarrollo Tecnológico y Protección Sanitaria del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) es responsable de formular la política y dar seguimiento a su ejecución en el contexto agropecuario, pesquero, acuícola y forestal relacionado con la Iniciativa Forestal Sostenible (SFI) para promover su implementación en las entidades adscritas y vinculadas.

La inocuidad de los alimentos es un concepto esencial en su manipulación, desde la producción hasta la distribución. Se refiere a las condiciones y medidas necesarias durante todas las fases para asegurar que, una vez ingeridos, no representen un riesgo para la salud del consumidor (Ministerio de Salud y Protección Social, 2022). La FAO, en asociación con la OMS, supervisa todos los aspectos de la cadena alimentaria para garantizar la inocuidad de los alimentos.

En Colombia, la Comisión Intersectorial de Seguridad Alimentaria y Nutricional (CISAN) lanzó el Plan Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional 2012-2019 con el objetivo de mejorar la situación alimentaria y nutricional de la población, especialmente la más vulnerable. Se ha avanzado en la concienciación sobre la importancia de la inocuidad en toda la cadena alimentaria, ya que problemas como la producción primaria pueden transferirse a otras fases como el procesamiento, empaque, transporte, comercialización y preparación del producto, lo cual puede afectar su consumo (Guevara, Vasquez y Jurado, 2023).

Según el Ministerio de la Salud (2015), la inocuidad alimentaria engloba el conjunto de condiciones y medidas esenciales durante la producción, almacenamiento, distribución y preparación de los alimentos para garantizar que, al ser consumidos, no representen un riesgo para la salud. Este concepto abarca todos los riesgos derivados de patógenos mi-

crobianos o contaminantes físicos o químicos, como señalan Arispe y Tapia (2007). La seguridad alimentaria, definida por la FAO en 2018, implica que todas las personas tienen derecho a acceder a alimentos nutricionalmente adecuados e inocuos, asegurando condiciones higiénicas y nutritivas adecuadas a nivel físico, social y económico.

Es vital no subestimar la importancia de la inocuidad al evaluar la calidad de los alimentos, ya que es un componente clave de esta última y a veces genera confusión entre ambos términos. La calidad, definida por López et al. (2015), se refiere a la satisfacción del cliente en aspectos como el valor nutricional, propiedades sensoriales y funcionales con atributos sujetos a condiciones regulatorias y normativas que están directamente relacionadas con los sistemas de inocuidad.

Según la FAO (2018), la inocuidad alimentaria se ha convertido en un tema de salud pública debido a diversos factores: el aumento de enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) y la aparición de nuevos peligros alimentarios, los rápidos cambios en la tecnología de producción y comercialización, los avances en técnicas de análisis de microorganismos, el comercio internacional de alimentos, la necesidad de armonizar normas de inocuidad y calidad, y los cambios en estilos de vida —incluida la urbanización, y las crecientes demandas de los consumidores respecto a la inocuidad y la información sobre la calidad—.

En la actualidad, los gobiernos y las industrias agroalimentarias han adoptado un enfoque integrado y profesional para el desarrollo, que asegura la satisfacción del cliente, la calidad y la inocuidad de los productos y procesos (López et al., 2015).

En Colombia, la gestión de la inocuidad y el control de calidad de los alimentos son elementos fundamentales del sistema nacional de medidas sanitarias y fitosanitarias (msf), así como pilares estratégicos de la política nacional de sanidad agropecuaria e inocuidad alimentaria que establece un nuevo marco organizacional y operativo. El Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (Invima) es responsable



de la inspección, vigilancia y control a nivel nacional del sistema de gestión de inocuidad, mientras que las Entidades Territoriales de Salud se encargan de las medidas sanitarias en inocuidad, la vigilancia epidemiológica de enfermedades de transmisión por alimentos (ETA) y la atención de alertas sanitarias. Además, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) tiene la facultad de expedir medidas sanitarias en inocuidad de alimentos en la producción primaria agrícola y pecuaria (MinSalud y FAO, 2017).

La importancia de la inocuidad de los alimentos no solo radica en prevenir afectaciones a la salud, sino también en sus implicaciones sobre la comercialización de alimentos contaminados. Esto ha llevado al diseño de metodologías y sistemas como el Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP) para garantizar la inocuidad y calidad de los alimentos (Ortega y Pérez, 2017).

En cuanto a los peligros alimentarios, los alimentos están expuestos a diversas etapas durante su proceso de fabricación, lo que los deja altamente expuestos a diferentes contaminantes (León, 2019). Muchos de estos son considerados peligrosos por su capacidad para causar daños a la salud del consumidor. Cada año, millones de personas en todo el mundo padecen alguna afección de salud derivada de la ingesta de alimentos (FAO, 2018).

Factores como la aplicación no controlada de productos químicos en la agricultura, la contaminación ambiental, el uso de aditivos no autorizados y otros abusos en la cadena alimentaria contribuyen a la aparición o impiden la reducción de los peligros (FAO, 2018). El Codex Alimentarius define el peligro como “un agente biológico, químico o físico presente en el alimento que puede causar un efecto adverso para la salud” (Bruno y Fuentes, 2021).





Tendencias tecnológicas y científicas para la sanidad, fitosanidad e inocuidad

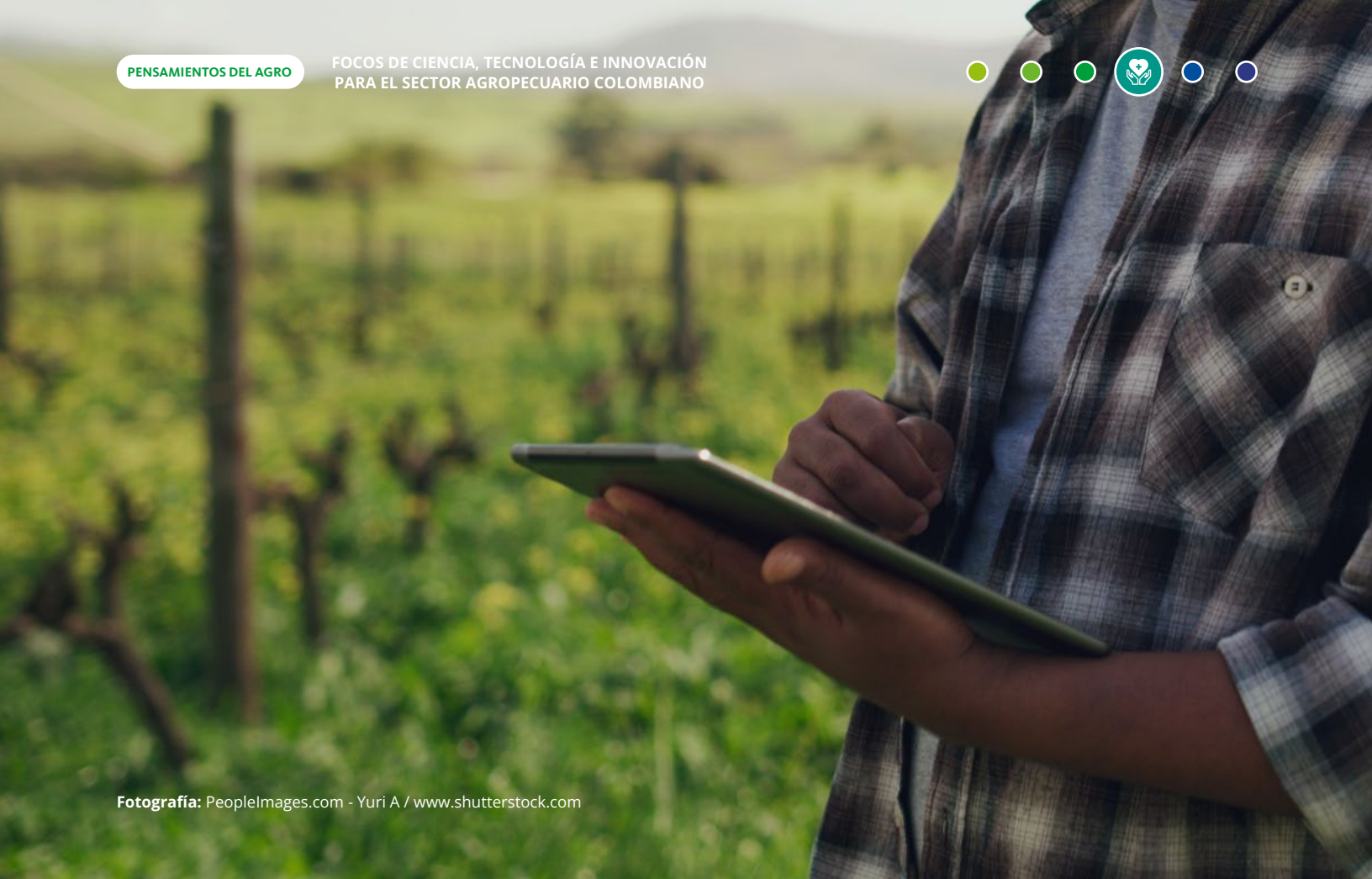
Las tendencias biotecnológicas resaltan ciertas técnicas moleculares que permiten la detección rápida y eficiente de microorganismos patógenos. En este sentido, Huertas et al. (2019) y Rajakumar et al. (2022) han demostrado que la reacción de cadena de la polimerasa en tiempo real (pcr) combina la amplificación de secuencias específicas de adn que operan en condiciones libres de contaminación mediante un ensayo automatizado. Esta técnica ofrece resultados cuantitativos en menos tiempo, aporta mayor sensibilidad y seguridad, y permite un cribado alternativo para la evaluación de patógenos alimentarios según la norma ISO 16140 del 2003 y la Asociación Francesa de Normalización (afnor). Esto abarca la evaluación de *Mycobacterium tuberculosis* en lácteos, *Salmonella typhi* en huevos y en parásitos como *Toxoplasma gondii* y *Plasmodium spp.* en cárnicos.

Otra herramienta innovadora es la electroforesis en gel de campo pulsado (PFGE). Balboa (2022) y Zo-

tta et al. (2019) señalan que esta técnica posibilita la comparación epidemiológica de los microorganismos encontrados en un brote de enfermedades transmitidas por alimentos (ETA), basada en la migración del adn por polaridad a través de un gel concentrado entre dos campos eléctricos que utilizan enzimas de restricción. Su aplicación en alimentos se centra en la subtipificación de microorganismos implicados en ETA, discriminando entre diferentes agentes bacterianos epidemiológicamente relacionados. La PFGE identifica genes de resistencia a antibióticos, caracteriza genéticamente toxinas como la Shiga producida por *Escherichia coli* y asocia los patrones de similitud molecular entre cepas patógenas y las causas de su transmisión.

Estudios recientes resaltan el alcance de técnicas como CRISPR/Cas (Mao et al., 2022, y Hajikhani et al., 2023), las cuales indican que la edición genética al utilizar CRISPR/Cas12a constituye una poderosa herramienta de biodetección en seguridad alimentaria. Esto permite la edición de genes y el diagnóstico de ácidos nucleicos simultáneamente, que amplían directamente los ácidos nucleicos en la detección de virus patógenos transmitidos por alimentos.





Fotografía: PeopleImages.com - Yuri A / www.shutterstock.com

En cuanto a las tendencias tecnológicas 4.0, Bouzembrak et al. (2019) exponen que la digitalización de la información, almacenamiento de datos, aplicaciones móviles y software de gestión y control son iniciativas desarrolladas para cada eslabón de la cadena alimentaria. Rajakumar et al. (2022) proponen el uso del internet de las cosas (IoT) para crear condiciones favorables e inocuas en la cadena de distribución de alimentos. Las interfaces inteligentes pueden conectarse a sensores para monitorear variables como temperatura, luz, movimiento y ubicación mediante Bluetooth o conexiones 4G y 5G. Además, sugieren utilizar el IoT para controlar parámetros como salinidad, cantidad, actividad microbiana y adulteración mediante sensores de gas, que generan alertas tempranas en envases inteligentes. Esto se traduce en el control de puntos críticos de control (HACCP), monitoreo de alimentos adulterados, contaminación y degradación, previniendo la aparición de eta.

Leng et al. (2019) destacan la implementación de la tecnología de identificación por radiofrecuencias (RFID) para favorecer la trazabilidad en el transporte y distribución de alimentos que reconocen destinos específicos mediante señales de radiofrecuencia y/o microondas. La RFID disminuye los riesgos de pérdidas en la calidad del producto y ofrece advertencias previas de seguridad alimentaria. Por último, Wang, Han y Beynon (2019) sugieren que el Blockchain, como registro digital descentralizado, permite que todos los integrantes de una cadena de suministro de alimentos accedan fácilmente a la información. Esto se resume en visibilidad, trazabilidad extendida, digitalización y mejora en la seguridad de datos y contratos inteligentes, que reducen factores como el contrabando de alimentos —el cual desencadena en contaminación natural, accidental y deliberada de productos— (Ordóñez et al., 2023).



Seguridad alimentaria y nutricional

La seguridad alimentaria se erige como un imperativo ineludible en la misión de garantizar que todos los ciudadanos tengan acceso oportuno a alimentos nutritivos y suficientes para una vida activa y saludable. En este apartado se explora cómo la ciencia, la tecnología y la innovación convergen para abordar los desafíos de la seguridad alimentaria en el contexto específico del sector agropecuario colombiano.

La Cumbre Mundial sobre la Alimentación definió en 1996 la seguridad alimentaria como una condición que existe cuando todas las personas, en todo momento, tienen acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en cuanto a los alimentos, con el fin de llevar una vida activa y sana (FAO, 1996); dicha definición es ampliamente usada en la actualidad.

En el contexto internacional se considera que hay seguridad alimentaria cuando se encuentran plenamente satisfechas sus cuatro dimensiones: dis-

ponibilidad física de los alimentos, acceso económico y físico a los alimentos, utilización biológica de los alimentos y estabilidad de las tres dimensiones anteriores.

En Colombia, la política nacional define la seguridad alimentaria y nutricional como la “disponibilidad suficiente y estable de alimentos, el acceso y el consumo oportuno y permanente de los mismos en cantidad, calidad e inocuidad por parte de todas las personas bajo condiciones que permitan su adecuada utilización biológica para llevar una vida saludable y activa” (DNP, 2008). En este concepto se integran los ejes que la definen: a) disponibilidad de alimentos; b) acceso físico y económico a los alimentos; c) consumo de alimentos; d) aprovechamiento o utilización biológica; y e) calidad e inocuidad (DNP, 2008).

La seguridad alimentaria se define como la condición en la que todas las personas, en cualquier momento, tienen acceso físico y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y llevar una vida saludable.



Según los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), América Latina y el Caribe (ALyC) fue la única región que alcanzó la meta de reducir a la mitad la proporción de personas con desnutrición entre 1990 y 2015. Sin embargo, para 2016 el número de personas con hambre aumentó en 2,4 millones, llegando a casi 42,5 millones. La pobreza está en aumento y la producción de alimentos enfrenta una presión significativa para reducir su impacto ambiental y garantizar la sostenibilidad de los recursos naturales.

En este contexto desafiante, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) promueve un enfoque multisectorial que aborda la seguridad alimentaria

desde la perspectiva de los sistemas alimentarios. Este enfoque moderno considera la seguridad alimentaria no solo desde la oferta de alimentos, sino también desde la demanda, teniendo en cuenta el estado nutricional de la población.

El enfoque de sistemas alimentarios engloba todas las actividades que influyen directa o indirectamente en los procesos de siembra, cosecha, procesamiento, empaquetado, transporte, distribución, mercadeo, comercio, consumo y eliminación de desechos.

En este marco conceptual, además de la seguridad alimentaria, se describen otros términos dados por la FAO relacionados con este tema:



Hambre

Sensación incómoda o de dolor causada por un consumo insuficiente de energía alimentaria.



Privación de alimentos

No se ingieren suficientes calorías. Se utiliza aquí como sinónimo de subalimentación (crónica). Se mide por la prevalencia de la subalimentación.



Inseguridad alimentaria grave

Quedarse sin alimentos, sentir hambre y, en el caso más extremo, tener que pasar un día o más tiempo sin comer.



Inseguridad alimentaria moderada

Estado de incertidumbre con respecto a la capacidad de obtener alimentos, que involucra el riesgo de saltarse comidas o de quedarse sin alimentos, así como de verse en la obligación de poner en peligro la calidad nutricional o la cantidad de los alimentos consumidos.



Malnutrición

Trastorno vinculado con deficiencias, excesos o desequilibrios en el consumo de macronutrientes o micronutrientes. Por ejemplo, la subalimentación y la obesidad son formas de malnutrición, mientras que el retraso del crecimiento o la emaciación infantiles son indicadores de la subalimentación.



Nutracéuticos

Se definen como sustancias químicas o biológicas que pueden encontrarse como componentes naturales de los alimentos o adicionarse a los mismos y que resultan especialmente beneficiosas, tanto en la prevención de enfermedades como en la mejora de las funciones fisiológicas del organismo (Leonard, 2006).



Alimento funcional

Aquel que contiene un componente, nutriente o no nutriente con actividad selectiva relacionada con una o varias funciones del organismo y un efecto fisiológico añadido por encima de su valor nutricional, cuyas acciones positivas justifican que pueda reivindicarse su carácter funcional (fisiológico) o incluso saludable (Silveira, Monereo y Molina, 2003).



Sistemas alimentarios

Conjunto de actividades relacionadas con la producción, elaboración, distribución, preparación y consumo de alimentos. Los tres elementos constitutivos de los sistemas alimentarios son las cadenas de suministro de alimentos, los entornos alimentarios y el comportamiento del consumidor (HLPE 12, 2017, citado por ganesan, 2020).

El concepto de seguridad alimentaria se desglosa en cuatro dimensiones:

1

Disponibilidad: Refiere a la oferta de alimentos a nivel nacional o local, generada mediante la producción agrícola doméstica o el intercambio comercial, y que puede aumentarse mediante intervenciones que incrementen la producción a nivel nacional, regional o local, o que faciliten las importaciones de alimentos.

2

Acceso: Se refiere a la disponibilidad de recursos (financieros, físicos) en los hogares para adquirir una cantidad adecuada de alimentos. Puede mejorarse mediante intervenciones que aumenten los ingresos,

promuevan la producción agrícola para autoconsumo y generen empleos de calidad.

3

Utilización: Hace referencia a la calidad de los alimentos, necesaria para obtener un estado nutricional adecuado y llevar una vida saludable. Se puede mejorar mediante el aumento de la inocuidad de los alimentos, el acceso al agua potable, la mejora de la calidad de la dieta y la reducción de la obesidad.

4

Estabilidad: Se refiere a la capacidad de tener acceso constante a cantidades adecuadas de alimentos de calidad. Puede mejorarse reduciendo la vulnerabilidad de los sistemas alimentarios frente a desastres naturales, cambio climático y fluctuaciones de precios.



Figura 12. Intervenciones generales para cada dimensión de la seguridad alimentaria

Tomada de Ramírez-Beltrán, A. M., Moreno-Valderrama M. N., Molano-Bernal L. C., Zambrano Muñoz A. P. (2021).



Transversal

- 1 Fomentar la coordinación intersectorial e interinstitucional para diseñar e implementar políticas y proyectos relacionados con la seguridad alimentaria.



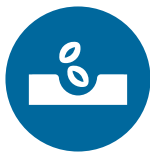
Disponibilidad

- 1 Mejorar la prestación de servicios agrícolas y el acceso a la infraestructura pública en las zonas rurales.
- 2 Mejorar la participación de los pequeños agricultores en los mercados globales y las cadenas de valor para facilitar el comercio, el acceso a insumos de calidad y tecnologías innovadoras.
- 3 Ampliar el acceso a los recursos productivos y la asistencia técnica para las mujeres, los jóvenes y los grupos vulnerables en las zonas rurales.
- 4 Implementar intervenciones para reducir las pérdidas de comida en todo el sistema alimentario.



Acceso

- 1 Combinar intervenciones productivas y de protección social para incrementar el ingreso de la población rural en condiciones de pobreza y aumentar el consumo de alimentos.



Utilización

- 1 Fortalecer los programas de protección social con condiciones de nutrición y salud.
- 2 Promover la adopción de dietas saludables para reducir el sobrepeso y la obesidad, principalmente entre niños y adolescentes.
- 3 Ampliar el alcance de las intervenciones agrícolas para incluir acciones sensibles a la nutrición.
- 4 Impulsar la oferta y la demanda de alimentos inocuos y el acceso a los servicios de agua y saneamiento.



Estabilidad

- 1 Fomentar la agricultura climáticamente inteligente y otras acciones para reducir el impacto de los desastres naturales.



Sostenibilidad ambiental, agroecología, variabilidad y cambio climático

El concepto de sostenibilidad ambiental se relaciona con el desarrollo rural, territorial y humano, ya que el territorio es el espacio donde se establecen relaciones entre las personas y el entorno. De esta manera, se abandona la concepción del ambiente como un sujeto pasivo en el que simplemente se llevan a cabo actividades humanas, para adoptar una nueva que lo reconoce como un ente dinámico en el que interactúan diversos seres vivos, incluido el ser humano (Sepúlveda, 2016).

Esta concepción de sostenibilidad adquiere una doble connotación, ya que las actividades humanas impactan los recursos del territorio. Por lo tanto, la

sostenibilidad no se separa de la economía, sino que se proyecta ampliamente para comprender las actividades y características biológicas de los ecosistemas territoriales. El objetivo es entender el funcionamiento del ecosistema para que su aprovechamiento económico —necesario para la subsistencia humana— tenga el menor impacto posible. Se vincula con el principio de la escasez de recursos, la población existente y la presión sobre el territorio, así como con los procesos de contaminación y agotamiento de los recursos naturales, al incluir estrategias de producción limpia en diversos campos económicos (Bravo y Bravo, 2016; Zarta, 2018).



En este contexto, Sepúlveda (2016) define la sostenibilidad como la habilidad para lograr una prosperidad económica sostenible en el tiempo, protegiendo simultáneamente los sistemas naturales del planeta y proporcionando una alta calidad de vida para las personas. Los mecanismos para controlar la contaminación originada por las actividades económicas pueden ser de tipo político —tanto a nivel público como privado—, e implican diversos instrumentos —como normas de emisión tecnológicas, impuestos y subsidios—, así como mecanismos de provisión directa del Estado para el manejo de residuos y desarrollo tecnológico (Sánchez, 2002).

Por otro lado, el reto de armonizar la producción agropecuaria con la preservación del medioambiente se configura como una tarea apremiante en el contexto global y, especialmente, en el panorama agrícola colombiano. En este segmento, nos sumergiremos en la intersección crucial entre la sostenibilidad ambiental, la agroecología y la gestión de la variabilidad y cambio climático en el ámbito agropecuario.

El análisis de información en relación con la sostenibilidad ambiental, que se realiza para la actualización del PECTIA, se centra en la producción agropecuaria ambientalmente sostenible y hace hincapié en los sistemas de producción agroecológica, la variabilidad

y el cambio climático. Por lo tanto, es imperativo describir los conceptos fundamentales relacionados con estos temas.

Según el MADR (2017), la Agricultura Campesina, Familiar y Comunitaria (ACFC) se refiere al sistema de producción y organización gestionado y operado por mujeres, hombres, familias y comunidades en los territorios rurales colombianos. Este sistema abarca actividades agrícolas, pecuarias, pesqueras, acuícolas y silvícolas, con una diversificación que incluye actividades no agropecuarias como la biodiversidad, artesanías, turismo rural y empleos temporales. Se destaca por su diversidad en tamaño y tipo de tenencia de tierra, así como por su enfoque en el trabajo familiar, asociativo o comunitario.

En función de lo anterior, dentro de sus características se destacan: i) tiene una relación heterogénea en cuanto al tamaño y tipo de tenencia de la tierra; ii) es diversa y abarca distintas categorías o tipologías, dependiendo de las particularidades territoriales (sistemas productivos predominantes, aspectos culturales o socioeconómicos, entre otras); iii) las actividades agropecuarias suelen complementarse con actividades no agropecuarias como el aprovechamiento de la biodiversidad, las artesanías, el turismo rural y el desarrollo de empleos temporales, entre otras; iv) las familias y comunidades rurales cubren parcialmente sus necesidades de autoconsumo y generan ingresos a través de múltiples formas y grados de articulación con los mercados de productos, servicios y factores a nivel territorial, nacional e internacional; v) las actividades se realizan a través de emprendimientos familiares, asociativos o solidarios; vi) sus redes y organizaciones tienen un papel importante en los procesos de gestión territorial e incidencia política; vii) la tierra y el trabajo rural representan no solo un medio de producción sino también de reproducción social; y viii) contribuye a la seguridad y soberanía alimentaria del país, fortalece el tejido social de los territorios rurales y, en general, dinamiza el desarrollo territorial (MADR, 2017).





La ACFC se define, de acuerdo con el MADR (2017), como un sistema de producción y organización gestionado y operado por mujeres, hombres, familias y comunidades campesinas, indígenas, negras, afrodescendientes, raizales y palenqueras que conviven en los territorios rurales del país. En la ACFC se desarrollan principalmente actividades de producción, transformación y comercialización de bienes y servicios agrícolas, pecuarios, pesqueros, acuícolas y silvícolas, que suelen complementarse con actividades no agropecuarias. Esta diversificación de actividades y medios de vida se realiza predominantemente a través de la gestión y el trabajo familiar, asociativo o comunitario, aunque también puede emplearse mano de obra contratada. El territorio y los actores que gestionan este sistema están estrechamente vinculados y coevolucionan combinando funciones económicas, sociales, ecológicas, políticas y culturales.

La agroecología es considerada como un concepto holístico derivado de disciplinas como la agronomía, la ecología y la botánica. Según la Resolución 464 de 2017, se define en Colombia como una disciplina científica, un conjunto de prácticas y un movimiento social. Como ciencia, estudia las interacciones ecológicas en los agroecosistemas; como conjunto de prácticas, busca sistemas agroalimentarios sostenibles basados en conocimientos locales y científicos; y como movimiento social, promueve la multifuncionalidad y sostenibilidad de la agricultura, la justicia social y el desarrollo económico en las zonas rurales.

Las prácticas agroecológicas comprenden técnicas y tecnologías aplicadas al diseño y manejo de sistemas agroalimentarios sostenibles, que integran principios ecológicos para aumentar la productividad y eficiencia energética mientras se reduce la generación de residuos. Estas prácticas se basan en el diálogo de saberes y la experiencia de los agricultores (MADR, 2017).

Los Sistemas Participativos de Garantías (SPG) son mecanismos desarrollados mediante la participación directa de productores, consumidores y miembros de

la comunidad para verificar y garantizar la producción, comercialización y consumo de productos agroecológicos a nivel local y regional (Resolución 464 de 2017).

Con respecto al cambio climático, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) lo entiende como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables. Por otro lado, el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) lo define como cualquier cambio en el clima con el tiempo, debido a la variabilidad natural o como resultado de actividades humanas. A su vez, y desde el punto de vista meteorológico, se llama cambio climático a la alteración de las condiciones predominantes, por lo que los procesos externos tales como: la variación de la radiación solar, las variaciones de los parámetros orbitales de la tierra (la excentricidad, la inclinación del eje de la tierra con respecto a la eclíptica), los movimientos de la corteza terrestre y la actividad volcánica son factores que tienen gran importancia en el cambio climático (Ideam, s.f.).

Se conocen como gases de efecto invernadero (GEI) a aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, de origen natural o antropogénico, que absorben y emiten la energía solar reflejada por la superficie de la tierra, la atmósfera y las nubes. Los principales gases de efecto invernadero son el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄), los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC) y el Hexafluoruro de Azufre (SF₆) (Gobierno de Colombia, 2018).

La denominación *gestión del cambio climático* nombra un proceso coordinado de diseño, implementación y evaluación de acciones de mitigación de GEI y adaptación al cambio climático, orientado a reducir la vulnerabilidad de la población, de la infraestructura y de los ecosistemas a los efectos del cambio climático. También incluye las acciones orientadas a permitir y aprovechar las oportunidades que el cambio climático genera (Gobierno de Colombia, 2018).



A su vez, la resiliencia o capacidad de adaptación es la capacidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales para afrontar un suceso, tendencia o perturbación peligrosa que responde o se reorganiza para que mantengan su función esencial, su identidad y su estructura, al tiempo que conserven la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación (Gobierno de Colombia, 2018).

La variabilidad climática refiere a las variaciones en el estado medio y otros datos estadísticos del clima en todas las escalas temporales y espaciales (como las desviaciones típicas, la ocurrencia de fenómenos extremos como El Niño y La Niña, etc.), más allá de fenómenos meteorológicos determinados. Dicha variabilidad se puede deber a procesos internos

naturales dentro del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones en los forzamientos externos antropogénicos (variabilidad externa) (Gobierno de Colombia, 2018).

Por último, la vulnerabilidad es la susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico asociado a un fenómeno hidroclimático se presente. Corresponde a la predisposición de los seres humanos y sus medios de subsistencia a sufrir pérdidas o daños, así como al deterioro de los ecosistemas, la biodiversidad, los servicios ecosistémicos, el recurso hídrico, los sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados (Gobierno de Colombia, 2018).





5

Propuestas de estrategias y líneas de acción para cada foco



Tabla 15. Estrategias y líneas de acción propuestas en seguridad alimentaria y nutricional

Tomado y modificado de Ramírez, Moreno, Molano y Zambrano (2021).

Nombre del factor (2017): Seguridad alimentaria

Nombre del foco (2021): Seguridad alimentaria y nutricional

Estrategia 1. Poner en marcha programas y proyectos de ciencia, tecnología e innovación para mejorar la seguridad alimentaria y nutricional

Líneas de acción

Destinar un 10 % de los recursos públicos de I+D+i en programas o proyectos que fortalezcan la seguridad alimentaria y nutricional, de acuerdo con lo definido con la Agenda I+D+i.

Realizar procesos de generación, acumulación, socialización y aplicación de conocimiento tecnológico que permita mejores prácticas de producción, manejo poscosecha, transformación de productos, diseño de empaques, fortificación, preservación de nutrientes y diversificación de funcionalidades de productos agroalimentarios para su consumo en fresco o procesado (versión 2017), teniendo en cuenta aspectos culturales que influyen en los hábitos de consumo.

Ejecutar un programa de I+D+i para la producción de alimentos nutraceuticos y funcionales (fuentes alternativas de proteína y nutrientes esenciales) aprovechando la diversidad biológica del país, a través de sistemas de producción justos, saludables y respetuosos del medio ambiente.

Ejecutar un programa de I+D+i para la producción de alimentos nutraceuticos y funcionales (fuentes alternativas de proteína y nutrientes esenciales) aprovechando la diversidad biológica del país, a través de sistemas de producción justos, saludables y respetuosos del medio ambiente.

Generar una propuesta a partir de estudios de adaptación de modelos de desarrollo de mercados agroalimentarios en subastas públicas y centros de abastecimiento que mejoren la estabilidad en el suministro y disponibilidad de alimentos y garanticen el pago justo a los productores con la participación de aliados internacionales.

Desarrollar estudios sobre tendencias del mercado, hábitos y preferencias alimenticias del consumidor, estrategias productivas que contemplen la diversidad de productores y formas de producción, herramientas de promoción y políticas, para satisfacer la demanda de nichos especializados y orientar las actividades de I+D+i.



Estrategia 2. Procesos de formación y capacitación para la seguridad alimentaria y nutricional

Líneas de acción

Ejecución de un plan de capacitación y formación a productores en prácticas de producción, manejo de cosecha y poscosecha; en desarrollo y fortalecimiento de la cadena de suministro; en desarrollo de ciclos cortos de producción y comercialización y en asociatividad.

Desarrollo de campañas de nutrición inteligente y de promoción de nuevas masculinidades dirigida a comunidades rurales y de la ACFC, con participación equitativa de género.

Conformación y gestión de redes comunitarias para facilitar la interacción entre los productores de la ACFC y el intercambio de información, conocimientos y productos que fortalezcan su seguridad alimentaria y nutricional.

Integración de los programas de alimentación escolar con los de proveedores de alimentos de la Agricultura Campesina, Familiar y Comunitaria (ACFC).

Estrategia 3. Sistema de seguimiento a la seguridad alimentaria y nutricional robusto y articulado

Líneas de acción

Elaborar un diagnóstico del Observatorio de Seguridad Alimentaria y Nutricional (OSAN) para identificar las causas por las cuales no está vigente, la información disponible, la institucionalidad relacionada y los aspectos de mejora para darle continuidad.

Reactivar el OSAN como punto focal que integre la información de SAN generada en el orden regional (municipios y departamentos) y nacional incluyendo información de indicadores, tendencias de consumo, ofertas disponibles de investigación, desarrollo tecnológico e innovación que beneficien la SAN, implementación y evaluación de programas SAN y presupuesto de inversiones públicas en SAN.

Definir la batería de indicadores para el seguimiento del estado de la SAN por parte del OSAN.

Diseño y puesta en marcha del sistema de información sobre el que se gestionarán los datos recopilados en materia de SAN.



Tabla 16. Estrategias y líneas de acción propuestas en sanidad, fitosanidad e inocuidad

Tomado y modificado de Jiménez, Garavito y Yepes (2022).

Nombre del factor (2017): No aplica

Nombre del foco (2021): Sanidad, fitosanidad e inocuidad

Estrategia 1. Fortalecimiento de capacidades para el desarrollo de la CTI en sanidad, fitosanidad e inocuidad

Líneas de acción

Fortalecer a nivel nacional la cantidad e idoneidad del recurso humano, la red laboratorios y el portafolio de servicios de diagnóstico para detección de problemáticas que impacten el estatus sanitario, fitosanitario y de inocuidad del país.

Socializar y capacitar a productores agropecuarios, encargados de implementar la normatividad sanitaria y fitosanitaria.

Estrategia 2. Vincular temáticas de sanidad, fitosanidad e inocuidad a la extensión agropecuaria

Líneas de acción

Fortalecer las capacidades en el servicio de extensión agropecuaria de alta calidad con el fin de facilitar el acompañamiento al productor en la implementación de la normativa sanitaria, fitosanitaria y de inocuidad.

Socializar y capacitar a los productores agropecuarios en la implementación de la normatividad sanitaria, fitosanitaria y de inocuidad.

Acompañamiento al productor en el proceso de certificación de predios y productos.

Transferir la oferta tecnológica desarrollada a partir de los procesos de investigación que aporten a la mejora del estatus sanitario, fitosanitario y de inocuidad.



Estrategia 3. Generación de investigación y su aplicación según las demandas del sector

Líneas de acción

Fortalecer la investigación para la identificación de plagas y enfermedades para los diferentes productos agropecuarios.

Realizar investigación enfocada a la mejora de la inocuidad en los productos agropecuarios y a la georreferenciación de problemáticas de interés.

Diseñar sistemas de trazabilidad en todas las actividades de la cadena hasta la obtención del producto final.

Apoyar la vigilancia epidemiológica activa a través de estudios que demuestren la presencia o ausencia de plagas y enfermedades, sus focos y su impacto en la inocuidad de los productos agropecuarios.

Diseñar estrategias para fomentar el manejo integrado y sostenible de plagas y enfermedades atendiendo las necesidades identificadas en la Agenda I+D+i.

Estrategia 4. Generación de sistemas unificados de información

Líneas de acción

Proveer de herramientas tecnológicas a las regiones de mayor importancia frente al manejo sanitario y fitosanitario, con el fin de ampliar la cobertura y generar información más confiable. (incluye capacitaciones, dispositivos, redes, estaciones meteorológicas, uso de internet de las cosas (IoT), robótica, agricultura 4.0, entre otras).

Fortalecer los canales de comercialización de productos agropecuarios mediante el uso de TIC para disminuir la intermediación que puede afectar la calidad de los productos.

Crear un sistema tecnológico unificado que permita reportar, consolidar y divulgar la información de SFI de fácil acceso al productor y que orientar la toma de decisiones de las partes interesadas

**Tabla 17.** Estrategias y líneas de acción propuestas en Agrologística

Tomado y modificado de Jiménez, Garavito y Yepes (2022).

Nombre del factor (2017): No aplica**Nombre del foco (2021):** Foco de ciencia, tecnología e innovación en agrologística

Estrategia 1. Promover la intermodalidad y la especialización de los servicios de transporte de carga para el sector agropecuario

Líneas de acción

Analizar las posibilidades de movilización de la carga agropecuaria en nuevos medios y modos de transporte en corredores logísticos estratégicos.

Estrategia 2. Promover el acceso, uso y apropiación de la información base para la planeación agrologística a nivel nacional y territorial

Líneas de acción

Consolidar un servicio integral y abierto de consulta y de análisis especializado de información de la red Agrologística.

Promover el uso y apropiación del servicio en actores del nivel nacional y territorial relacionados con el fortalecimiento de la planeación y gestión logística de las cadenas de suministro agropecuarias.

Estrategia 3. Uso y apropiación de tecnologías de información para el fortalecimiento transversal de las capacidades agrologísticas en el país

Líneas de acción

Generar un ecosistema de agrologística para fortalecer los procesos de diseminación, uso, apropiación de mejores prácticas en logística con énfasis en la gestión del conocimiento y la innovación.

Estrategia 4. Integrar la agrologística a las iniciativas de transformación digital de la institucionalidad relacionada.

Líneas de acción

Realizar procesos de innovación y experimentación para obtener y mejorar modelos de negocios en agrologística.

Establecer mecanismos para promover la participación público-privada en oportunidades para el desarrollo de nuevas aplicaciones o plataformas de apoyo a la gestión logística agropecuaria.

**Tabla 18.** Estrategias y líneas de acción propuestas en Bioeconomía

Tomado de Ramírez, Jiménez y Santana (2022).

Nombre del factor (2017): No aplica**Nombre del foco (2021):** Bioeconomía

Estrategia 1. Fortalecimiento de capacidades para el desarrollo de la bioeconomía

Líneas de acción

Capacitación y sensibilización sobre la importancia y potencialidad de los recursos naturales, la biodiversidad y el impacto de la ciencia, la tecnología y la innovación agropecuaria sobre estos.

Generar capacidades para la implementación de actividades productivas rurales sostenibles y la aplicación de los desarrollos tecnológicos que permitan el avance de la bioeconomía.

Impulsar la bioeconomía, los negocios verdes y la economía circular.

Estrategia 2. Desarrollar acciones de CTI enfocadas en la aplicación de la bioeconomía para un sector agropecuario productivo y sostenible

Líneas de acción

Desarrollo y registro de bioinsumos que den respuesta a las necesidades del sector agropecuario.

Desarrollo de programas, proyectos e iniciativas en alternativas energéticas renovables de tipo no convencional para su aprovechamiento en la producción agropecuaria.

Desarrollo de programas, proyectos e iniciativas en alternativas energéticas renovables de tipo no convencional para su aprovechamiento en la producción agropecuaria.

Generación de nuevos productos y servicios que permitan el uso y utilización de biomasa y subproductos agropecuarios.

Generación de ingredientes naturales y bioactivos para aplicación en las diferentes industrias.



Tabla 19. Estrategias y líneas de acción propuestas en sostenibilidad ambiental, agroecología, variabilidad ambiental y cambio climático

Tomado de Ramírez, Moreno, Jiménez y Castillo (2022).

Nombre del factor (2017): Sostenibilidad ambiental, variabilidad y cambio climático.

Nombre del foco (2021): Sostenibilidad ambiental, agroecología, variabilidad ambiental y cambio climático.

Estrategia 1. Procesos de reconversión productiva y transición hacia la agroecología

Líneas de acción

Caracterización y desarrollo de recursos genéticos para sistemas agroecológicos.

Desarrollo de sistemas agroforestales, silvopastoriles, agrosilvopastoriles, regenerativos, de bienestar animal y otras alternativas de manejo en los procesos de transición agroecológica.

Desarrollo y transferencia de tecnologías ecológicas apropiables para el uso eficiente y sostenible de los sistemas productivos con énfasis en los recursos agua y suelo, de acuerdo con las condiciones agroecológicas de las regiones.

Reconocimiento social y económico del valor biológico de los alimentos agroecológicos y su aporte en la seguridad alimentaria y nutricional.

Elaboración y uso de bioinsumos para los procesos de transición agroecológica, fomentando iniciativas familiares, comunitarias y territoriales como: las biofábricas comunitarias, parcelas demostrativas, sistemas familiares integrales, estrategias de aprovechamiento de residuos, entre otros.

Escalamiento y masificación de innovaciones socio técnicas (territorios agroalimentarios, reservas naturales, faros agroecológicos, entre otros) a partir del diálogo de saberes y prácticas.



Estrategia 2. Sistemas de calidad, valor agregado y mercados agroecológicos

Líneas de acción

Desarrollo de alternativas agroindustriales o de generación de valor agregado para los sistemas de producción agroecológica.

Establecimiento y fortalecimiento de circuitos cortos de comercialización para la producción agroecológica.

Desarrollo de mercados internacionales que promuevan la producción, uso y consumo sostenible de productos y subproductos diferenciados (sellos de calidad, denominaciones de origen, entre otros).

Incentivar la implementación de sistemas de trazabilidad y sistemas de gestión de calidad a través de la adopción y expansión de sistemas participativos de garantías (SPG)¹⁵, otras certificaciones de confianza y certificaciones de tercera parte para la producción agroecológica y orgánica.

Análisis integrales de costos y externalidades de sistemas de producción agroecológica, negocios verdes y sistemas convencionales.

Estrategia 3. Servicios ecosistémicos de la agroecología

Líneas de acción

Identificación y valoración de los servicios ecosistémicos de los sistemas agroecológicos como el suministro de alimentos saludables, agua, fibras, calidad del aire y servicios culturales y de recreación como ecoturismo, etnoturismo, turismo comunitario y turismo de naturaleza.

Desarrollo de proyectos orientados al fomento de prácticas agroecológicas en áreas de importancia ambiental en donde se permita el uso condicionado del suelo para actividades agropecuarias.

Pago o incentivo por servicios ambientales derivados de los procesos agroecológicos, tales como restauración de condiciones edáficas, regulación de los ciclos hidrológicos, conservación de fuentes hídricas, secuestro de carbono y manejos fitosanitarios.



Estrategia 4. Sistemas de información para la agroecología

Líneas de acción

Caracterización y zonificación de agroecosistemas y actores, como insumo para el desarrollo y fortalecimiento de sistemas integrales de información agroecológica en red.

Uso de las TIC para el intercambio, formación y visibilización de los procesos de transición agroecológica (ejemplo: radio, redes sociales, plataformas interactivas, podcast).

Fomento de estrategias orientadas al comercio electrónico en los sistemas de producción agroecológica.

Diseño e implementación de estrategias de monitoreo de los sistemas productivos, adoptando las TIC, de tal manera que se generen consultas en tiempo real y diagnóstico de puntos críticos.

Estrategia 5. Agrobiodiversidad y resiliencia ante los efectos de la variabilidad y el cambio climático

Líneas de acción

Desarrollo de tecnologías apropiables para el uso de fuentes no convencionales de energía renovable y mitigación de impactos derivados de la variabilidad y el cambio climático.

Contribución de los sistemas productivos agroecológicos a la resiliencia de los agroecosistemas como medida de mitigación de los efectos de la variabilidad y el cambio climático.

Caracterización, recuperación y multiplicación de las semillas nativas y criollas, tomando como base las condiciones de adaptación a los agroecosistemas.

Análisis y fortalecimiento de la relación gastronomía-biodiversidad, tales como alimentos nativos, adecuación de minutas y alimentos de nicho.

Diseño e implementación del Sistema de Alertas Agroclimáticas Tempranas (SAAT) de acuerdo con la heterogeneidad territorial en el marco de la variabilidad y el cambio climático de los agroecosistemas (versión 2017).

Mejorar la comprensión de las causas del cambio climático y sus efectos en sistemas productivos específicos (versión 2017).



Estrategia 6. Extensión, formación y asistencia técnica para la sostenibilidad ambiental y el fomento de la agroecología

Líneas de acción

Diseño de modelos de formación que incorporen el enfoque de sostenibilidad ambiental y sistemas de producción agroecológica, dirigidos a extensionistas y asistentes técnicos.

Desarrollo e implementación de los modelos de extensión y asistencia técnica agropecuaria.

Capacitación y formación en el manejo sostenible de los sistemas productivos agroecológicos con enfoque diferencial.

Diseño e incorporación de cursos, cátedras y seminarios de sostenibilidad ambiental y sistemas de producción agroecológica en los currículos del sistema de educación básica, primaria, media vocacional, técnica, tecnológica y profesional.

Implementación de semilleros de investigación con jóvenes rurales alrededor de las prácticas de producción sostenibles y tecnologías agroecológicas, fomentando el desarrollo de emprendimientos locales y fortaleciendo su permanencia en el territorio.

Fomento de las redes de investigación en sostenibilidad ambiental y agroecología, tomando como base los grupos de trabajo existentes en los territorios.

Estrategia 7. Gobernanza y participación

Líneas de acción

Articular las líneas de acción y programas de en sostenibilidad ambiental y agroecología en los instrumentos de planeación y ordenamiento territorial (POT, PDM, PDEA, POMCA, entre otros).

Diseño e implementación de mecanismos para el fortalecimiento de las instancias de participación en el orden territorial y nacional, asociadas con la agricultura campesina familiar y comunitaria (ACFC) de base agroecológica.

Promoción de la participación de las mujeres rurales en la planeación y el ordenamiento del territorio, tomando como base sus saberes y prácticas alrededor de en sostenibilidad ambiental y agroecología.

Fomento de espacios para la participación de jóvenes rurales, orientados a la promoción de la sostenibilidad ambiental y la agroecología.



Referencias



A

Aderibigbe, O. R., Ezekiel, O. O., Owolade, S. O., Korse, J. K., Sturm, B., y Hensel, O. (2022). Exploring the potentials of underutilized grain amaranth (*Amaranthus* spp.) along the value chain for food and nutrition security: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 62(3), 656-669. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1825323>

AGROSAVIA (2021). *Bioeconomía: lineamientos corporativos*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/36909>.

AGROSAVIA. (2021). *Análisis comparativo de las Agendas Departamentales de Competitividad e Innovación – ADCl en relación con el Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario Colombiano – PECTIA y la Agenda I+D+i que lo integra*. Bogotá, D.C.

Aguilar, A., Twardowski, T., y Wohlgemuth, R. (2019). Bioeconomy for sustainable development. *Bio-technology Journal*, 14(8), 1800638. <https://doi.org/10.1002/biot.201800638>

Alengebawy, A., Abdelkhalek, S. T., Qureshi, S. R., & Wang, M. Q. (2021). Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications. *Toxics*, 9(3), 42. <https://doi.org/10.3390/toxics9030042>

Arsène, M. M. J., Davares, A. K. L., Viktorovna, P. I., Andreevna, S. L., Sarra, S., Khelifi, I., & Sergueïevna, D. M. (2022). The public health issue of antibiotic residues in food and feed: Causes, consequences, and

potential solutions. *Veterinary World*, 15(3), 662. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2022.662-671>

Arispe, I. y Tapia, M. (2007). *Inocuidad y calidad*. Google Académico, 11.

B

Balboa, J. C. (2022). *Metodología de detección e identificación de patógenos en alimentos*. [Tesis de grado]. Universidad de Jaén.

Banco Mundial. (2014). *Developments and Needs for Sustainable Agro-Logistics in Developing Countries*. Recuperado de Open Knowledge Repository - OKR. World Bank Position Note, January 2014. Jack G.A.J. van der Vorst y Joost Snels. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10986/17834>.

Banco Mundial. (2016). Data bank - *Tierras agrícolas (% de la tierra)*. Recuperado de: <https://datos.bancomundial.org/indicador/AG.LND.AGRI.ZS>.

Banco Mundial. (2018). *International LPI*. Recuperado de: <https://bit.ly/31ZfuxM>.

Banco Mundial. (2020). *Uso de la tierra en la agricultura según las cifras*. Recuperado de: <https://www.fao.org/sustainability/news/detail/es/c/1279267/#:~:text=La%20superficie%20de%20tierra%20destinada,y%20pastizales%20para%20el%20pastoreo>.

Banco Interamericano de Desarrollo. (2016). *La evolución de la política nacional logística en Colombia y el apoyo del BID*. Recuperado de: <https://bit.ly/3dP10nb>.



- Barrett, C. B., Reardon, T., Swinnen, J., & Zilberman, D. (2022). Agri-food value chain revolutions in low-and middle-income countries. *Journal of Economic Literature*, 60(4), 1316-1377. <https://doi.org/10.1257/jel.20201539>
- Bioeconomy, I. A. (2021). *Global Bioeconomy Policy Report (IV): A decade of bioeconomy policy development around the world*. Recuperado de: https://gbs2020.net/wp-content/uploads/2021/04/GBS-2020-Global-Bioeconomy-Policy-Report_IV_web-2.pdf.
- Bouzembrak, Y., Klüche, M., Gavai, A., y Marvin, H. J. P. (2019). Internet of Things in food safety: Literature review and a bibliometric analysis. *Trends in Food Science & Technology*, 94, 54-64. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.TIFS.2019.11.002>.
- Bozsik, N., Cubillos T, J. P., Stalbek, B., Vasa, L., y Magda, R. (2022). Food security management in developing countries: Influence of economic factors on their food availability and access. *PloS one*, 17(7), e0271696. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0271696>
- Bravo, M., y Bravo, S. (2016). La economía ambiental y ecológica relacionada con el desarrollo económico. *Revista DELOS: Desarrollo Local Sostenible*, 25. Recuperado de: <http://www.eumed.net/rev/delos/25/economia.html>.
- Bruno, M. y Fuentes, E. (2021). Análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP): sistema para la gestión de la inocuidad en las industrias agroalimentarias en Colombia. [Tesis de grado de especialización]. Recuperado de: <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstreams/ea98da28-1fd9-4384-a9fe-16a0cc15caf6/download>.
- Bueno, A., Lagarda, E. A., Miranda, M. A., Velarde, J. M., y Pérez, K. G. (2022). Conceptual fluidity model for resilient agroindustry supply chains. *Production & Manufacturing Research*, 10(1), 281-293.
- C**ampo. (19 de Junio de 2020). *La producción agroecológica es tendencia en la alimentación saludable*. Recuperado de: <http://suenaacampo.com/2020/06/19/la-produccion-agroecologica-es-tendencia-en-la-produccion-y-la-alimentacion-saludable/>.
- Comunidad Andina de Naciones. (s.f.). *Sanidad Animal y Productos Veterinarios*. Recuperado de: <https://www.comunidadandina.org/temas/dg1/sanidad-animal/>.
- Carducci, B., Keats, E. C., Ruel, M., Haddad, L., Osendarp, S. J. M., y Bhutta, Z. A. (2021). Food systems, diets, and nutrition in the wake of COVID-19. *Nature Food*, 2(2), 68-70. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00233-9>
- Cariappa, A. A., Acharya, K. K., Adhav, C. A., Sendhil, R., y Ramasundaram, P. (2021). Impact of COVID-19 on the Indian agricultural system: A 10-point strategy for post-pandemic recovery. *Outlook on Agriculture*, 50(1), 26-33. <https://doi.org/10.1177/0030727021989060>
- Carvajalino, J.D., Romero, F., López, M., Ardila, N. y González, M.A. (2022). Economía circular en Colombia: panorama y estrategias para acelerar su implementación. En E. Serna (Ed.), *Ingeniería y desarrollo en la nueva era*, (pp. 187-200). Instituto Antioqueño de Investigación.



- Castellanos, R. E. (2018). Lineamientos de política pública de seguridad alimentaria y nutricional desde la perspectiva de diferentes actores para el municipio de Santiago de Cali. [Tesis de grado de Maestría]. Recuperado de: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/d416d508-5756-4692-8303-7e8043da2fa4/content>.
- Castillo, N. T., Ramirez, A. M. y Moreno, M. N. (2022). Foco de ciencia, tecnología e innovación en agrologística. *Actualización Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación Agropecuario Colombiano - PECTIA, 2017-2027*.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe —CEPAL. (2017). *Bioeconomía en América Latina y el Caribe. Contexto global y regional y perspectivas*. (N. Unidas, Ed.) Serie Desarrollo Productivo (215).
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe —CEPAL. (2021). *Estadísticas ambientales y de cambio climático para América Latina y el Caribe. (MDEA - Subcomponente 2.5 Recursos biológicos)*. Recuperado de: <https://bit.ly/3mKhdz1>.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe —CEPAL, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación —FAO, e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura —IICA. (2021). *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2021-2022*. San José. Costa Rica.
- Chakraborty, R., Asthana, A., Singh, A. K., Jain, B., y Susan, A. B. H. (2022). Adsorption of heavy metal ions by various low-cost adsorbents: a review. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 102(2), 342-379. <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1722811>
- Chakwizira, J., Nhemachena, C., y Mashiri, M. (2010). Connecting Transport, Agriculture and Rural Development: Experiences from Mhlontlo Local Municipality Integrated Infrastructure Atlas. *Document Transformation Technologies*. Recuperado de: <https://researchspace.csir.co.za/dspace/handle/10204/4400>.
- Chavarria, H., Trigo, E., Villareal, F., Elverdin, P., y Piñeiro, V. (2020). *Policy Brief - Bioeconomy: a sustainable development strategy. Arabia Saudita: G20*. Recuperado de: https://www.g20-insights.org/wp-content/uploads/2020/11/T20_TF10_PB18.pdf.
- Clapp, J., Moseley, W. G., Burlingame, B., y Termine, P. (2022). The case for a six-dimensional food security framework. *Food Policy*, 106, 102164. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2021.102164>
- Consortium, O. H. (s.f.). *One Health Consortium*. Recuperado de: <http://www.cwonehealth.com/#:~:text=El%20consorcio%20Colombia%20Wisconsin%20One,al%20desarrollo%20de%20la%20salud>.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria —AGROSAVIA, Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación —Colciencias, y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural —MADR. (2017). *PECTIA: Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del sector Agropecuario colombiano (2017-2027)*. Recuperado de: <https://repository.AGROSAVIA.co/handle/20.500.12324/12759>. Accedido el 18/11/2023.
- Congreso de la República de Colombia. (2017). *Ley 1876 por medio de la cual se crea el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria y se dictan otras disposiciones*.
- Comisión Europea. (s.f.). *Bioökonomierat - German Bioeconomy Council*. Recuperado de: https://knowledge4policy.ec.europa.eu/organisation/bio%C3%B6konomierat-german-bioeconomy-council_en.



- Consejo Nacional de Política Económica y Social — CONPES. (2021). *CONPES 4023 - Política para la reactivación, la repotenciación y el crecimiento sostenible e incluyente: nuevo compromiso por el futuro de Colombia*. Bogotá D.C.: Consejo Nacional de Política Económica y Social.
- Corallo, A., Latino, M. E. y Menegoli, M. (2018). From industry 4.0 to agriculture 4.0: a framework to manage product data in agri-food supply chain for voluntary traceability. *International Journal of Nutrition and Food Engineering*, 12(5), 146-150.
- D**
- Departamento Administrativo de la Función Pública — DAFP. (2011). *Decreto 3570, por el cual se modifican los objetivos y la estructura del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y se integra el Sector Administrativo de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Bogotá, D.C.: Departamento Administrativo de la Función Pública (DAFP).
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística —DANE. (2021). *Boletín técnico Producto Interno Bruto (PIB) II trimestre 2021*. Recuperado de: <http://www.dane.gov.co>.
- Darolt, R., Lamine, C., Brandenburg, A., Alencar, M., y Abreu, L. (2016). Alternative food networks and new producer-consumer relations in France and in Brazil. *Ambiente & Sociedade*, 19(2), 1-22.
- De Clercq, M., Vats, A., y Biel, A. (2018). Agriculture 4.0: The future of farming technology. *Proceedings of the world government summit, Dubai, UAE*, 11-13.
- Departamento Nacional de Planeación —DNP. (2008). *CONPES 3547. Política Nacional Logística*. Bogotá, D.C.: Departamento Nacional de Planeación.
- Departamento Nacional de Planeación —DNP. (2008). *CONPES 113. Política Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional (PSAN)*. Bogotá, D.C.: Departamento Nacional de Planeación.
- Departamento Nacional de Planeación —DNP. (2018). Alianza por la seguridad alimentaria y la nutrición: ciudadanos con mentes y cuerpos sanos. Recuperado de: <https://bit.ly/3x9MdMo>.
- Departamento Nacional de Planeación —DNP. (2018). *Documento CONPES 3918, Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Bogotá, D.C.: Departamento Nacional de Planeación.
- Departamento Nacional de Planeación —DNP. (2018). *Documento CONPES 3926, Política de adecuación de tierras*. Bogotá, D.C.: Departamento Nacional de Planeación.
- Departamento Nacional de Planeación —DNP. (2019). *Documento CONPES 3934. Política de Crecimiento Verde*. Bogotá D.C.: Departamento Nacional de Planeación. Recuperado de <https://bit.ly/2Y7G2Lk>.
- Departamento Nacional de Planeación —DNP. (2020). *CONPES 3982. Política Nacional Logística*. Bogotá, D.C.: Departamento Nacional de Planeación.
- Departamento Nacional de Planeación —DNP. (2020). *Encuesta Nacional Logística 2020*. Recuperado de <https://plc.mintransporte.gov.co/Portals/0/News/Encuesta%20Nacional%20Logi%CC%81s-tica%202020.pdf?ver=2021-09-24-211753-007>.



Departamento Nacional de Planeación —DNP. (2021). *Documento CONPES 4023. Política para la reactivación, la repotenciación y el crecimiento sostenible e incluyente: nuevo compromiso por el futuro de Colombia*. Bogotá, D.C.: Departamento Nacional de Planeación.

Departamento Nacional de Planeación —DNP. (2022). *Bases PND 2022-2026 (versión para el Consejo Nacional de Planeación, 15 de noviembre de 2022). Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026, "Colombia, potencia mundial de la vida"*. Bogotá, D.C.: Departamento Nacional de Planeación.

F

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación —FAO. (1996). *World Food Summit*. Recuperado de: <http://www.fao.org/wfs/>.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación —FAO. (2006). *Agricultura, expansión del comercio y equidad de género - Zoraida García*. Roma, Italia: Dirección de Género y Población de la FAO.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación —FAO. (2018). *Assessing the Contribution of Bioeconomy to Countries Economy*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación —FAO. (2018). *Sistemas de calidad e inocuidad de los alimentos - Manual de capacitación*. (Anexo 2. La aplicación del análisis de riesgos a los programas de control de

la inocuidad de los alimentos). Recuperado de: <http://www.fao.org/3/w8088s/w8088s00.htm>.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación —FAO. (2019). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Progresos en la lucha contra la pérdida y*. Roma.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación —FAO. (2020). *Hambre e inseguridad alimentaria*. Recuperado de: <https://www.fao.org/hunger/es/>.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación —FAO. (2021). *Introducción al Decenio de las Naciones Unidas de la agricultura familiar*. Recuperado de: <https://www.fao.org/family-farming-decade/home/es/#:~:text=El%20Decenio%20de%20las%20Naciones,familiares%20en%20la%20erradicaci%C3%B3n%20del>.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación —FAO. (2021). *Transformación de los sistemas alimentarios agrícolas: de la estrategia a la acción*. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/nf649es/nf649es.pdf>.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación —FAO, Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola —FIDA, Organización Mundial de la Salud —OMS, Programa Mundial de Alimentos —PMA, y Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia —UNICEF. (2020). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2020. Transformación de los sistemas alimentarios para que promuevan dietas asequibles y saludables*. Recuperado de: <https://doi.org/10.4060/ca9699es>.



Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación —FAO y Ministerio de Salud y Seguridad Social —MSPS. (2016). *Primer informe de seguimiento al Plan Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional 2012-2019, Sistema de seguimiento y evaluación del Plan Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional (SSyE del PNSAN 2012-2019)*. Bogotá, D.C.: MSPS y FAO. Recuperado de: <https://bit.ly/3kVGEMY>.

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia —Fedecafé. (2021). Servicio de Extensión rural. Recuperado de: <https://federaciondefcafeteros.org/wp/cedula-cafetera/>.

Fernández, M. E. (2021). Pronósticos del estado del tiempo. Nuevos productos de Cenicaña. *Revista Tecnicaña*. 50,10-11. Recuperado de: <https://7b670768.flowpaper.com/REVISTATE-CPLANOMONTAJE/#page=13>.

Flórez, D. H., Zambrano, A. P. y Perdomo, Y. L. (2021). *Actualización: Factor específico 4: Agroindustria 4.0*. Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación Agropecuario Colombiano - PECTIA, 2017-2027.

Foro Economico Mundial. (16 de noviembre de 2021). *Circular Economy*. Recuperado de: <https://intelligence.weforum.org/topics/a1Gb000000pTDMEA2>.

Frimpong, S., Gebresenbet, G., Bosona, T., Bobo-bee, E. y Aklaku, E. (2012). Animal supply and logistics activities of abattoir chain in developing countries: the case of Kumasi Abattoir, Ghana. *Journal of Service Science and Management*, 5(1). Recuperado de: https://www.scirp.org/html/3-9201401_18217.htm.

G

Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición —GANESAN. (septiembre de 2020). *Los efectos de la COVID-19 en la seguridad alimentaria y la nutrición: la elaboración de respuestas eficaces en materia de políticas para abordar la pandemia del hambre y la malnutrición*. Roma: Comité de Seguridad Alimentaria Mundial (CSA), Grupo de expertos de alto nivel (HLPE/GANESAN). Recuperado de: <https://www.fao.org/3/cb1000es/cb1000es.pdf> / <https://doi.org/10.4060/cb1000es>.

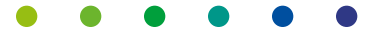
Guevara, B., Vásquez, A. y Jurado, N. B. . (2023). Tendencias de inocuidad en Colombia. *Documentos De Trabajo ECBTI*, 3(2). <https://doi.org/10.22490/ECBTI.6445>.

Giraldo, D., Martínez, D., Loboguerrero, A. M., Gumucio, T., Martínez, J. D. y Ramírez, J. (2018). *Mesas técnicas agroclimáticas (MTA): manual de implementación*. CGIAR-CCAFS y CIAT. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/10568/99717>.

Global Bioeconomy Alliance. (s.f.). *Global Bioeconomy Alliance*. Recuperado de: <https://bioeconomy.world/research/>.

Gobierno de Colombia. (2003). *Ley 811 de 2003*. Bogotá, Colombia

Gobierno de Colombia. (2013). *Plan Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional, PNSAN (2012-2019)*. Bogotá, D.C.



- Gobierno de Colombia. (2018). *Ley 1931 de 2018, por la cual se establecen directrices para la gestión del cambio climático*. Bogotá, D.C.
- Gobierno de Colombia. (2019). *Misión de Sabios: Colombia 2019*. (M. i. innovación, Ed.) Colombia. Recuperado de: <https://bit.ly/2YKVVw1>.
- Gobierno de Colombia. (2019). Ley 1955, *Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022, "Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad"*. Bogotá, D.C.
- Gobierno de Colombia. (2019). *Ley 1990, Política para prevenir la pérdida y desperdicio de alimentos*. Bogotá, D.C.
- Gobierno de Colombia. (2020). *Bioeconomía para una Colombia potencia viva y diversa: hacia una sociedad impulsada por el conocimiento*. Bogotá, D.C.
- González, S. P., Ramírez, A. M., Ortiz, S. A., Romero, F. A., Moreno, M. N., Yepes, L. A. y Uribe, C. P. (2023). *Boletín de indicadores en ciencia tecnología e innovación del sector agropecuario 2021*. Recuperado de: <https://repository.AGROSAVIA.co/handle/20.500.12324/38370>.
- González, S., Romero, F., Ortiz, S., Zambrano, A., Vergara, J., Yepes, A. y Uribe, C. (2023). Contexto de cadenas de valor del sector agropecuario de Colombia del 2021. AGROSAVIA. 10.13140/RG.2.2.26242.15040.
- Gowdy, J., y Mesner, S. (1998). The evolution of Georgescu-Roegen's bioeconomics. *Review of social economy*, 136-156.
- Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición —HLPE. (2019). Enfoques agroecológicos y otros enfoques innovadores en favor de la sostenibilidad de la agricultura y los sistemas alimentarios que mejoran la seguridad alimentaria y la nutrición. Recuperado de: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/hlpe/hlpe_documents/HLPE_S_and_R/HLPE_2019_Agroecological-and-Other-Innovative-Approaches_S-R_ES.pdf.
- Guevara, B., Vásquez, A., y Jurado, N. B. (2023). Tendencias de inocuidad en Colombia. *Documentos de trabajo ECBTI*, 3(2). Recuperado de: <https://doi.org/10.22490/ECBTI.6445>.
- ## H
- Han, J. W., Zuo, M., Zhu, W. Y., Zuo, J. H., Lü, E. L. y Yang, X. T. (2021). A comprehensive review of cold chain logistics for fresh agricultural products: Current status, challenges, and future trends. *Trends in Food Science & Technology*, 109, 536-551. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.066>
- Hajikhani, M., Zhang, Y., Gao, X. y Lin, M. (2023). Advances in CRISPR-based SERS detection of food contaminants: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 138, 615-627. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.07.001>.
- Huertas, C., Urbano, E. y Torres, M. (2019). Diagnóstico molecular, una alternativa para la detección de patógenos en alimentos. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 18(3). Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2019000300513.



Huo, D., Malik, A. W., Ravana, S. D., Rahman, A. U., & Ahmedy, I. (2024). Mapping smart farming: Addressing agricultural challenges in data-driven era. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 189, 113858. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113858>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales —IDEAM. (s.f.). *Preguntas frecuentes sobre cambio climático*. Recuperado de: <https://bit.ly/2F9JgyP>.

Impulso. (s.f.). *Tendencias: La agroecología como una oportunidad de transformación integral*. Recuperado de: <https://www.impulsonegocios.com/tendencias-la-agroecologia-como-una-oportunidad-de-transformacion-integral/>.

Jiménez, A. M., Garavito, H. C. y Yepes, L. A. (2022). *Actualización: Capítulo Sanidad, fitosanidad e inocuidad*. Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación Agropecuario Colombiano - PECTIA, 2017-2027.

Kabak, Ö., Ekici, Ş. Ö., & Ülengin, F. (2020). Analyzing two-way interaction between the competitiveness and logistics performance of countries. *Transport Policy*, 98, 238-246. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2019.10.007>

Leng, K., Jin, L., Shi, W., y Van Nieuwenhuyse, I. (2019). Research on Agricultural Products Supply Chain Inspection System Based on Internet of Things. *Cluster Computing*, 22, 8919-8927. <https://doi.org/10.1007/s10586-018-2021-6>.

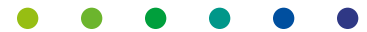
León, J. (2019). Propuesta de manual de buenas prácticas de manufactura (BPM) en establecimientos de alimentos y bebidas: Ciudad de Machala. [Tesis de pregrado]. Recuperado de: <http://186.3.32.121/handle/48000/13485>.

Leonard, H. P. (2006). Nutracéuticos: componente emergente para el beneficio de la salud. *ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azúcar*, 40(3), 20-28.

Loaiza, L. F. (2020). Tecnopalma al servicio de los palmiticultores colombianos. *Boletín El Palmicultor*, 581(Julio), 22. Recuperado de: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmicultor/article/view/13196>.

López, C. E., Nieto, L. E., Sánchez, W., Posada, V. y Ramírez, M. A. (2015). Paros agrarios y negociación entre el gobierno colombiano y la Cumbre Agraria Étnica Campesina y Popular (CACEP). *Criterio Libre Jurídico*, 12(2), 161-175.

Mackenzie, J.S. y Jeggo, M. (2019). The One Health approach—Why is it so important? *Tropical Medicine and Infectious Disease*, 4, 88. Recuperado de: <https://www.mdpi.com/2414-6366/4/2/88>.



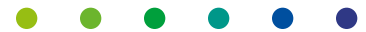
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural — MADR. (2017). *Resolución 464 de 29 de diciembre de 2017, por la cual se adoptan lineamientos estratégicos de política pública para la agricultura campesina, familiar y comunitaria*. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural —MADR, 2019. *Plan estratégico institucional*. Recuperado de: <https://bit.ly/2WGjqRP>.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural —MADR. (2020). *Plan Nacional de Agrologística. Versión para discusión*. Bogotá, D.C.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural —MADR. (2020). *Ley 2046 de 2020, por la cual se establecen mecanismos para promover la participación de pequeños productores locales agropecuarios y de la agricultura campesina, familiar y comunitaria en los mercados de compras públicas de alimentos*. Bogotá, D.C.: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural — MADR. (2021). *Resolución 000355 de 2021, por la cual se adopta el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático del Sector Agropecuario —PIGCCS*. Bogotá, D.C.: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural —MADR. (2022). Resolución 00132 de mayo de 2022, por la cual se adopta el Plan Nacional de Asistencia Integral Técnica, Tecnológica y de Impulso a la Investigación, formulado en cumplimiento del punto 1.3.3.2 del Acuerdo Final. Bogotá, D.C.: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural —MADS. (2017). *Ley 1844 de 2017, por medio de la cual se aprueba el “Acuerdo de París”, adoptado el 12 de diciembre de 2015, en París, Francia*. Recuperado de: <https://www.minambiente.gov.co/documento-entidad/ley-1844-de-2017/>.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural — MADS. (2021). *Resolución 1294 de 2021, por la cual se establecen los lineamientos para el desarrollo de actividades agropecuarias de bajo impacto y ambientalmente sostenibles en páramos y se adoptan otras disposiciones*. Bogotá, D.C. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural —MADS. (2003). *Proyecto Somos SINA: Guía de planificación ambiental regional*. Bogotá, D.C.: GTZ y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado de: <https://catalogo.car.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=57423>.
- Mao, Z., Chen, R., Wang, X., Zhou, Z., Peng, Y., Li, S., Han, D., Li, S., Wang, Y., Han, T., Liang, J., Ren, S. y Gao, Z. (2022). CRISPR/Cas12a-based technology: A powerful tool for biosensing in food safety. *Trends in Food Science & Technology*, 122, 211–222. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2022.02.030>.
- Martínez, D., Castañeda, A., y Galvis, C. (2020). *Bioeconomía cómo megatendencia de investigación en el sector agropecuario: perspectivas desde un análisis de paisajes científicos*. DOI: 10.18687/LACCEI2020.1.1.14.
- Mazzucato, M. (2018). Mission-oriented innovation policies: challenges and opportunities. *Industrial and corporate change*, 27(5), 803-815. <https://doi.org/10.1093/icc/dty034>



- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural —MADS. (2021). *El sector agropecuario creció 3,8% en el PIB del segundo trimestre de 2021*. Recuperado de: <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/El-sector-agropecuario-creci%C3%B3-3,8-en-el-PIB-del-segundo-trimestre-de-2021.aspx>.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación —MinCiencias. (2021). *Resolución 0792, por la cual se ordena la apertura de la convocatoria para el apoyo a programas y proyectos de I+D+i que contribuyan a resolver los desafíos establecidos en la Misión "Bioeconomía para una Colombia potencia viva y diversa"*. Bogotá, D.C.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación —Minciencias. (2021). *Bioeconomía para Colombia: prioridades y acciones estratégicas 2021-2022*. Presentación realizada el 4 de abril de 2021 al Comité Técnico de Ciencia, Tecnología e Innovación del SNCI, Bogotá, D.C.
- Ministerio de Salud y Protección Social —Minsalud, y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura —FAO. (2017). *Plan de acción para el fortalecimiento del Sistema Nacional de Gestión de la Inocuidad de los Alimentos*. Bogotá-Colombia. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SNA/Plan-accion-fortalecimiento-Sistema-nacional-Gestion-Inocuidad-AlimentosColombia-2012.pdf>.
- Misión Internacional de Sabios. (2019). *Colombia hacia una sociedad del conocimiento*. Bogotá. Recuperado de: https://www.minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/ebook-_colombia_hacia_una_sociedad_del_conocimiento.pdf.
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones —MinTIC. (2021). *Ciencias agropecuarias*. Disponible en: https://legadoweb.minciencias.gov.co/programa_estrategia/ciencias-agropecuarias.
- Mintransporte. (2021). *Portal Logístico de Colombia*. **Recuperado de:** <https://plc.mintransporte.gov.co/>.
- Morales, A., Contreras, C., y Flórez, D. (julio de 2021). *Vigilancia científica, línea estratégica seguridad alimentaria*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, AGROSAVIA., Departamento de Inteligencia y Divulgación Científica y Tecnológica, Bogotá, D.C.
- Moreno, Y., Mantilla, E., Pretelt, Tatiana., et al. (2020). *El agro y la agroindustria en Colombia*. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. <https://sac.org.co/wp-content/uploads/2020/12/Libro-El-Agro-2020.pdf>.

N

- Ngugi, L. C., Abelwahab, M., y Abo-Zahhad, M. (2021). Recent advances in image processing techniques for automated leaf pest and disease recognition—A review. *Information processing in agriculture*, 8(1), 27-51. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2020.04.004>
- Nordmark, I., Ljungberg, D., Gebresenbet, G., Bosona, T., y Jüriado, R. (2012). Integrated Logistics Network for the Supply Chain of Locally Produced Food, Part II: Assessment of E-Trade, Economic Benefit and Environmental Impact. *Journal of Service Science and Management*, 05(03), 249-262. <https://doi.org/10.4236/jssm.2012.53030>.



O

Organización Mundial del Comercio —OMC. (s.f.). Explicación del Acuerdo de la OMC sobre la aplicación de medidas sanitarias y fitosanitarias. Recuperado de: https://www.wto.org/spanish/tratop_s/sps_s/spsund_s.htm.

Organización Mundial de la Salud —OMS. (2020). Inocuidad de los alimentos. Recuperado de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>.

Ordóñez, G. A., España, J., Valdés, M. P., Vásquez, A., y Londoño, L. (2023). Tendencias biotecnológicas y tecnologías 4.0 aplicadas en el control de la inocuidad alimentaria. *Documentos de trabajo ECBTI*, 4(1). <https://doi.org/10.22490/ECBTI.7011>.

Ortega, A. y Pérez, E. (2017). *Elaboración de un plan HACCP para la línea de cortes de carne de cerdo refrigerados en la empresa pecuaria Gutiérrez S.A.C.* [Tesis de grado de pregrado]. Recuperado de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2684>.

Ovalle, J., Romero, F. y Uribe, C. (2023). *Tecnologías emergentes para el agro y su aplicación en Colombia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria —AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.estudiodevigilancia.2023.2>

P

Palma, M. L. (2019). *Aproximación a la comprensión de las dinámicas de implementación de la política pública de seguridad alimentaria en la comunidad*

indígena de Colombia. Pueblo Wayuu. [Tesis de grado de doctorado].

Presidencia de Colombia. (2009). *Decreto 2055 de 2009, por el cual se crea la Comisión Intersectorial de Seguridad Alimentaria y Nutricional, CISAN.*

Presidencia de Colombia. (2014). *Decreto 1115 de 2014, por el cual se integran disposiciones en cuanto a la Comisión Intersectorial de Seguridad Alimentaria y Nutricional-CISAN.*

Q

Quintero, C., Arce, A, y Nadine, A. (2023). Evidence of agroecology's contribution to mitigation, adaptation, and resilience under climate variability and change in Latin America. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 1-25. <https://doi.org/10.1080/021683565.2023.2273835>

R

Rajakumar, G., Ananth, T., Arun, S., y Muthu, K. (2022). lot Based Milk Monitoring System for the Detection of Milk Adulteration. *ESP Journal of Engineering & Technology Advancements*, 2(2), 6–9. <https://doi.org/10.56472/25832646/esp-v2i2p102>.

Ramírez Beltrán, A. M. (2020). *Seguridad alimentaria: disponibilidad, acceso y estabilidad. Documento de Contexto*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Observatorio de Ciencia, Tecnología e Innovación del sector agropecuario. Departamento de Articulación Institucional. Dirección de Planeación y Cooperación, Bogotá, D.C.



- Ramírez, A. M., Moreno, M. N., Jiménez, A. M. y Castillo, N. T. (2022). *Foco de ciencia, tecnología e innovación en sostenibilidad ambiental, agroecología, variabilidad y cambio climático*. Actualización, Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación Agropecuaria Colombiana - PECTIA, 2017-2027.
- Ramírez, A. M., Moreno, M. N., Molano, L. C. y Zambrano, A. P. (2021). *Foco Seguridad Alimentaria y Nutricional*. Actualización 2021 Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación Agropecuario Colombiano - PECTIA, 2017-2027.
- Ramírez, A. M., Jiménez, A. M. y Santana, J. J. (2022). *Foco de ciencia, tecnología e innovación en bioeconomía*. Actualización 2021 Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación Agropecuario Colombiano - PECTIA, 2017-2027.
- Ramírez, L. H., Barragán, C. A., Cárdenas, E., Niño, J. V. y Jaimes, J. (2021). *Revisión: residuos de antibióticos en la carne, un problema de salud pública en Colombia*.
- Riaño-Herrera, D. A., Romero-Perdomo, F. A., & Rodríguez-Urrego, L. (2023, July). Advances and Challenges Between Urban Agriculture and the Circular Economy to Promote Sustainable Cities. In 2023 IEEE Colombian Conference on Communications and Computing (COLCOM) (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/COLCOM59909.2023.10334265>
- Rizzo, D. M., Lichtveld, M., Mazet, J. A., Togami, E., y Miller, S. A. (2021). Plant health and its effects on food safety and security in a One Health framework: Four case studies. *One health outlook*, 3, 1-9. <https://doi.org/10.1186/s42522-021-00038-7>
- Red Nacional de Agricultura Familiar —Renaf. (s.f.). Red Nacional de Agricultura Familiar y Mesa Técnica de Agricultura Familiar y Economía Campesina. Recuperado de: <http://agriculturafamiliar.co/red-nacional-de-agricultura/>.
- Rodríguez, P. A. C., Canon, A. F. G., y Orjuela-Castro, J. A. (2023). Methodologies for characterization, evaluation, and improvement of logistics in the food supply chain. *Acta Logística*, 10(2), 175-190.
- Romero, H. M. (2021). Rendición de cuentas: Mejorar el estatus fitosanitario. *Palmas*, 42(3), 119-123. Recuperado de: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/13592>.
- Romero, F., Carvajalino, J. D., López, M., Ardila, N. y González, M. A. (2023). The Private Sector's Role in Colombia to Achieving the Circular Economy and the Sustainable Development Goals. *DYNA*, 90(228), 9-16. <https://doi.org/10.15446/dyna.v90n228.107721>
- Romero-Perdomo, F. A., Camelo, M., & Bonilla, R. (2015). Response of *Bradyrhizobium japonicum* to alginate in presence of pelleted fungicides on soybean seeds. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 18(2), 359-364.
- S**
- Saleem, M. H., Potgieter, J., y Arif, K. M. (2021). Automation in Agriculture by Machine and Deep Learning Techniques: A Review of Recent Developments. *Precision Agriculture*, 22, 2053-2091. <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09806-x>



- Salinas, D. A., Romero, F., Numa, S., Villagrán, E., Donado, P. y Galindo, J. R. (2022). Insights into Circular Horticulture: knowledge Diffusion, Resource Circulation, One Health Approach, and Greenhouse Technologies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19), 1-16. <https://doi.org/10.3390/ijer-ph191912053>
- Sánchez, G. (2002). Desarrollo y medio ambiente: Una mirada a Colombia. *Economía y desarrollo*, 1(1), 79-98. Recuperado de: <http://uac1.fuac.edu.co/revista/M/seis.pdf>.
- Sánchez, D. B., Romero, F. A. y Bonilla, R. R. (2014). Respuesta de *Physalis peruviana* L. a la inoculación con bacterias solubilizadoras de fosfato. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(5), 901-906.
- Schneider, K.R., Fanzo, J., Haddad, L., Herrero, M., Moncayo, J. R., Herforth, A., et al. The state of food systems worldwide in the countdown to 2030. *Nature Food* 4, 1090-1110 (2023). <https://doi.org/10.1038/s43016-023-00885-9>
- Schwab, K. (12 de Diciembre de 2015). The Fourth Industrial Revolution: What It Means and How to Respond. *Foreign Affairs*. Recuperado de: <https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-12-12/fourth-industrial-revolution>.
- Sepúlveda, J. (2016). Sustentabilidad ambiental: Referente esencial para el desarrollo regional. *Producción + Limpia*, 11(2), 7-8. Recuperado de: <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/1234/1025>.
- Seth, A. N. K. U. R., y Ganguly, K. A. V. E. R. Y. (2017). Digital technologies transforming Indian agriculture. *The Global Innovation Index*, 105-111.
- Silveira, M. B., Monereo, S. y Molina, B. (2003). Alimentos funcionales y nutrición óptima: ¿Cerca o lejos? *Revista Española de Salud Pública*, 77, 317-331.
- Suárez, E. (2020). Retos para la formulación e implementación de una política pública para la CTEI en el sector agropecuario. *Magazín Ruralidades y Territorialidades*, 1(5), 22-25.
- Seguros SURA. (2020). Variabilidad y cambio climático: características y oportunidades. Recuperado de: https://segurosura.com/blog/salud_planetaria/variabilidad-y-cambio-clima.
- T**
- Tejas, P. y Sanjay, S. (2019). Industry 4.0 implications on Agriculture Sector: An Overview. *International Journal of Management, Technology and Engineering*, 9(1), 1512-1524.
- Thakali, A., & MacRae, J. D. (2021). A review of chemical and microbial contamination in food: What are the threats to a circular food system?. *Environmental research*, 194, 110635. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110635>
- Thudi, M., Palakurthi, R., Schnable, J. C., Chitikineni, A., Dreisigacker, S., Mace, E., y Varshney, R. K. (2021). Genomic resources in plant breeding for sustainable agriculture. *Journal of Plant Physiology*, 257, 153351. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2020.153351>



U

Uribe, C., Roman, J., y Medina, J. (s.f.). *Metodología para la definición e implementación de un sistema de seguimiento y evaluación del Sistema de Sanidad, Fitosanitario y de Inocuidad*. [Documento inédito]. Bogotá.

V

Valero, J. L. y Gallo, N. I. (2021). *La gobernanza de la política pública de ciencia, tecnología e innovación: un estudio de caso sobre la participación de los actores del ecosistema de CTI en la ciudad de Medellín 2011-2021* [Tesis de grado de Doctorado].

Vargas, R., Romero, F., Martínez, J. F. y Lewandowski, I. (2023). A Review of the Knowledge Base for the Development of Natural Ingredients Value Chains for a Sustainable Biobased Economy in Colombia. *Discover Sustainability*, 4(1), 33. <https://doi.org/10.1007/s43621-023-00150-w>

Vargas, A. F., López, J. A. y Alvarado, Álvaro E. (2021). Sostenibilidad ambiental y manejo de residuos en sistemas de producción de cacao en el suroccidente de Boyacá-Colombia. *Ciencia y agricultura*, 18(3), 47-62. <https://doi.org/10.19053/01228420.v18.n3.2021.12896>.

Verdouw, C., Tekinerdogan, B., Beulens, A. y Wolferf, S. (2021). Digital twins in smart farming. *Agricultural Systems*, 189, 103046. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.103046>

Villagrán, E., Romero-Perdomo, F., Numa-Vergel, S., Galindo-Pacheco, J. R., & Salinas-Velandia, D. A. (2023). Life Cycle Assessment in Protected Agriculture: Where Are We Now, and Where Should We Go Next?. *Horticulturae*, 10(1), 15. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10010015>

Vogelpohl, T. y Töller, A. E. (2021). Perspectives on the Bioeconomy as an Emerging Policy Field. *Journal of Environmental Policy & Planning*, 23(2), 143-151. <https://doi.org/10.1080/1523908X.2021.1901394>

W

Wang, Y., Han, J.H. y Beynon, P. (2019). Understanding blockchain technology for future supply chains: a systematic literature review and research agenda. *Supply Chain Management*, 24(1), 62-84. <https://doi.org/10.1108/SCM-03-2018-0148>.

Y

Yadav, V. S., Singh, A. R., Raut, R. D., Mangla, S. K., Luthra, S., y Kumar, A. (2022). Exploring the Application of Industry 4.0 Technologies in the Agricultural Food Supply Chain: A Systematic Literature Review. *Computers & Industrial Engineering*, 169, 108304. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108304>

Yap, C. K., & Al-Mutairi, K. A. (2024). A Conceptual Model Relationship between Industry 4.0—Food-Agriculture Nexus and Agroecosystem: A Literature Review and Knowledge Gaps. *Foods*, 13(1), 150. <https://doi.org/10.3390/foods13010150>



Young, S. L., Frongillo, E. A., Jamaluddine, Z., Melgar, H., Pérez, R., Ringler, C. y Rosinger, A. Y. (2021). Perspective: the importance of water security for ensuring food security, good nutrition, and well-being. *Advances in nutrition*, 12(4), 1058-1073.

Z

Zambrano, A. D. P., Romero, F., Santana, J., Ovalle, J. C. y Uribe, C. P. (2022). Análisis competitivo del cultivo de Cannabis spp. y Erythroxylum coca en Colombia. Recuperado de: <https://repository.AGROSAVIA.co/handle/20.500.12324/38632>.

Zarta, P. (2018). La sustentabilidad o sostenibilidad: Un concepto poderoso para la humanidad. *Tabula Rasa: revista de humanidades*, 28, 409-423. <https://doi.org/10.25058/20112742.n28.18>.

Zhuang, D., Abbas, J., Al-Sulaiti, K., Fahlevi, M., Aljuaid, M., y Saniuk, S. (2022). Land-Use and Food Security in Energy Transition: Role of Food Supply. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.1053031>

Zotta, C. M., Lavayén, S., Deza, N., Cepeda, M., Zozzezzi, G., Morvay, L. y Rivas, M. (2019). Infecciones por Escherichia coli productora de toxina Shiga O121: H19 en pacientes atendidos en Mar del Plata. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 53(2), 193-201. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53560335006>.

