



Colección Análisis y Reflexiones en torno al Sector Agropecuario

Megatendencias en investigación, desarrollo e innovación para el sector agropecuario colombiano: perspectivas, estrategias y visiones de futuro

Diego Hernando Flórez Martínez

Alexis Morales Castañeda

Claudia Patricia Uribe Galvis

AGROSAVIA
EDITORIAL

Colección Análisis y Reflexiones en torno al Sector Agropecuario

Megatendencias en investigación, desarrollo e innovación para el sector agropecuario colombiano: perspectivas, estrategias y visiones de futuro

Diego Hernando Flórez Martínez

Alexis Morales Castañeda

Claudia Patricia Uribe Galvis

AGROSAVIA
EDITORIAL

Mosquera, Colombia 2018

Flórez Martínez, Diego Hernando

Megatendencias en investigación, desarrollo e innovación para el sector agropecuario colombiano: perspectivas, estrategias y visiones de futuro/ Diego Hernando Flórez Martínez, Alexis Morales Castañeda y Claudia Patricia Uribe Galvis. – Mosquera, (Colombia) : Agrosavia, 2018.

288 páginas -- (Colección Análisis y Reflexiones en torno al Sector Agropecuario)

Incluye referencias bibliográficas y datos numéricos

ISBN e-Book : 978-958-740-262-9

1. Investigación 2. Planificación agrícola 3. Sostenibilidad 4. Oferta y demanda 5. Tecnología apropiada I. Morales Castañeda, Alexis II. Uribe Galvis, Claudia Patricia.

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura Agrovoc

Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
AGROSAVIA - Sede Central
Kilómetro 14 vía Mosquera-Bogotá, Mosquera, código postal 250047, Colombia.

A partir de mayo de 2018, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria cambió su acrónimo Corpoica por AGROSAVIA.

Esta publicación es resultado del macroproyecto de AGROSAVIA N.º 185, "Apoyo a la estrategia de fortalecimiento del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología Agroindustrial (SNCTA)", transversal a las redes de innovación de AGROSAVIA

Colección: Análisis y Reflexiones en torno al Sector Agropecuario

Fecha de recepción: 04 de mayo de 2017

Fecha de evaluación: 02 de junio de 2017

Fecha de aceptación: 28 septiembre de 2017

Publicado noviembre de 2018

Preparación editorial

Editorial AGROSAVIA

editorial@agrosavia.co

Editora: Liliana Gaona García

Corrección de estilo: Nathalie De la Cuadra N.

Diseño: Oficina Asesora de Comunicaciones, Identidad y Relaciones Corporativas, AGROSAVIA

Diagramación: María Paula Berón

Citación sugerida: Flórez-Martínez, D. H., Morales-Castañeda, A., Uribe-Galvis, C. P. (2018). *Megatendencias en investigación, desarrollo e innovación para el sector agropecuario colombiano: perspectivas, estrategias y visiones de futuro*. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

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, declarando 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 o 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

www.agrosavia.co



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

Contenido

Agradecimientos	17
Introducción	21

Capítulo I

Megatendencias en la investigación agropecuaria	25
Introducción	25
Orientaciones y perspectivas para la agricultura: de lo mundial a lo local	28
Conclusiones	33

Capítulo II

Metodología de análisis de megatendencias en el sector agropecuario	37
Introducción	37
Itinerario de ruta	40
Conclusiones	43

Capítulo III

Megatendencia 1: biotecnología y biodiversidad	45
Elementos conceptuales	45
Biodiversidad	45
Biotecnología	46
Elementos clave del contexto de la megatendencia para Colombia	47
Orientaciones en los contextos nacional e internacional para la megatendencia	53
Orientaciones en el contexto nacional	53
Orientaciones en el contexto mundial	57

Tendencias en I+D+i en los contextos nacional e internacional	59
Contexto internacional de la biotecnología y la biodiversidad	59
Contexto nacional	66
Capacidades nacionales en biotecnología y biodiversidad	70
Actores nacionales en la megatendencia	71
Construcción de directrices estratégicas	73
En gobernanza	74
En gestión de conocimiento y asistencia técnica	74
En financiación	74
En capacidades	74
En CTi	74
Perspectivas de futuro	75
Conclusiones	76

Capítulo IV

Megatendencia 2: agroenergías	79
Elementos conceptuales	79
Elementos clave del contexto de la megatendencia para Colombia	83
Orientaciones en los contextos nacional e internacional	90
Orientaciones en el contexto nacional	90
Orientaciones en el contexto internacional	94
Tendencias en I+D+i en los contextos nacional e internacional	97
Contexto internacional	97
Contexto nacional	101
Capacidades nacionales en agroenergías	103
Actores nacionales en agroenergías	104

Construcción de directrices estratégicas	104
En materias primas	105
En productos	105
En procesos de transformación	105
En temas transversales	105
Perspectivas de futuro	106
Conclusiones	106

Capítulo V

Megatendencia 3: sostenibilidad ambiental, variabilidad y cambio climático	109
Elementos conceptuales	109
Elementos clave del contexto de la megatendencia para Colombia	113
Orientaciones en los contextos nacional e internacional	123
Orientaciones en el contexto nacional	123
Orientaciones en el contexto internacional	131
Tendencias en I+D+i en el contexto nacional e internacional	138
Contexto internacional	139
Contexto nacional	143
Capacidades nacionales en sostenibilidad ambiental, variabilidad y cambio climático	148
Actores nacionales en sostenibilidad ambiental, variabilidad y cambio climático	149
Construcción de directrices estratégicas	155
Perspectivas de futuro	158
Conclusiones	158

Capítulo VI

Megatendencia 4: seguridad alimentaria	163
Elementos conceptuales	163
Elementos clave del contexto de la megatendencia para Colombia	165
Orientaciones en los contextos nacional e internacional	175
Contexto internacional	175
Contexto nacional	177
Tendencias en I+D+i en los contextos nacional e internacional	178
Contexto internacional	178
Contexto nacional	180
Capacidades nacionales en seguridad alimentaria	182
Actores nacionales en seguridad alimentaria	183
Construcción de directrices estratégicas	185
Disponibilidad de alimentos	187
Calidad e inocuidad	187
Tendencias de consumo	187
Temas transversales	187
Perspectivas de futuro	187
Conclusiones	188

Capítulo VII

Megatendencia 5: tecnologías de la información y las comunicaciones	191
Elementos conceptuales	191
Elementos clave del contexto de la megatendencia para Colombia	193
Orientaciones en los contextos nacional e internacional	199
Contexto internacional	199
Contexto nacional	204

Tendencias en I+D+i en los contextos nacional e internacional	205
Contexto internacional	208
Contexto nacional	211
Capacidades nacionales en tecnologías de la información y las comunicaciones	215
Construcción de directrices estratégicas	216
Ciencia, tecnología e innovación	217
Capacidades (recursos humanos e infraestructura)	218
Gestión de mercados y financiación	218
Gobernanza e institucionalidad	218
En transferencia de tecnología y asistencia técnica	218
Actores nacionales en tecnologías de la información y las comunicaciones	218
Perspectivas de futuro	222
Conclusiones	224

Capítulo VIII

Las megatendencias en la construcción de política pública sectorial	227
Construcción de focos en ciencia, tecnología e innovación	228
Conclusiones	234

Capítulo IX

Conclusiones y recomendaciones generales	237
Conclusiones	237
Recomendaciones	239
Referencias	243
Anexos	259
Anexo 1. Consolidado de estrategias en megatendencias	259
Directrices de tecnologías de la información y las comunicaciones	259

Directrices en biotecnología y biodiversidad	264
Directrices en seguridad alimentaria	270
Directrices en agroenergías	274
Anexo 2. Instrumentos de construcción colectiva	280
Identificación de actores	281
Conceptos clave	282
Validación de lineamientos estratégicos y construcción de estrategias	283
Priorización de estrategias	284
Visión de futuro 2016-2026	285

Lista de figuras

Figura 1	Proceso de gestión de la información para herramientas de gestión estratégica	39
Figura 2	Itinerario metodológico de ruta	41
Figura 3	Biodiversidad como megatendencia en investigación en agricultura y ciencias biológicas. Publicaciones científicas 2010-2017	60
Figura 4	Biotecnología como megatendencia en investigación en agricultura y ciencias biológicas. Publicaciones científicas 2000-2014	62
Figura 5	Capacidades nacionales en las megatendencias de biotecnología y biodiversidad	71
Figura 6	Actores por tipo de organización	72
Figura 7	Producción y ventas de etanol carburante y biodiésel en Colombia, 2010-2015	85
Figura 8	Energías alternativas como megatendencia en investigación en agricultura y ciencias biológicas. Publicaciones científicas 2010-2017	100
Figura 9	Capacidades nacionales en la megatendencia de agroenergías	103
Figura 10	Sostenibilidad ambiental como megatendencia en investigación en agricultura y ciencias biológicas. Publicaciones científicas 2010-2017	140
Figura 11	Investigación en agroecosistemas en el mundo 2000-2015	141
Figura 12	Capacidades nacionales en la megatendencias de sostenibilidad ambiental, variabilidad y cambio climático	148
Figura 13	Actores privados y públicos	151
Figura 14	Sistema Nacional Ambiental de Colombia	152

Figura 15	Mapa de actores institucionales para la megatendencia de sostenibilidad ambiental	154
Figura 16	Seguridad alimentaria como megatendencia en investigación en agricultura y ciencias biológicas a nivel mundial. Dinámica de publicaciones científicas y actores líderes, periodo 2010-2017	179
Figura 17	Capacidades nacionales en la megatendencias de seguridad alimentaria	183
Figura 18	Arcoíris de acceso a infraestructura, accesorios y servicios en tecnologías de la información y las comunicaciones	200
Figura 19	Niveles de adopción de tecnologías de la información y las comunicaciones en el sector agropecuario	208
Figura 20	Tecnologías de la información y las comunicaciones como megatendencia en investigación en agricultura y ciencias biológicas. Publicaciones científicas 2010-2017	210
Figura 21	Capacidades nacionales en la megatendencias de TIC	216
Figura 22	Análisis de actores por rol como organización	219
Figura 23	Análisis de actores por su rol en tecnologías de la información y las comunicaciones	220
Figura 24	Análisis de actores por su rol de gestión de conocimiento (GC) primario y secundario	221
Figura A.1	Estructura de una estrategia	283

Lista de tablas

Tabla 1	Clasificación sintética de las megatendencias	26
Tabla 2	Transversalidad en las orientaciones en agricultura	34
Tabla 3	Indicadores clave de biodiversidad en Colombia	50
Tabla 4	Indicadores clave de biotecnología en Colombia	51
Tabla 5	Capacidades en biodiversidad y biotecnología en Colombia	52
Tabla 6	Factores que afectan la biodiversidad y su aprovechamiento desde la biotecnología	55
Tabla 7	Tendencias en biotecnología industrial aplicables a la agroindustria	63
Tabla 8	Enfoques de biotecnología agrícola	65
Tabla 9	Perfil de la investigación nacional en biodiversidad	66
Tabla 10	Perfil de la investigación nacional en biotecnología	68
Tabla 11	Principales fuentes de agroenergía	81
Tabla 12	Indicadores energías renovables del Banco Mundial para Colombia	86
Tabla 13	Capacidades en agroenergías	87
Tabla 14	Líneas de trabajo en agroenergías para financiación de proyectos de CTi	91
Tabla 15	Tendencias tecnológicas en biocombustible	97
Tabla 16	Energías alternativas como megatendencia de investigación en el sector agropecuario en Colombia	102
Tabla 17	Evolución del concepto de desarrollo sostenible	111
Tabla 18	Indicadores de sostenibilidad ambiental para Colombia, acordes con el Banco Mundial	116
Tabla 19	Producción intelectual en investigación en Colombia para sostenibilidad ambiental	122
Tabla 20	Datos de uso del suelo	127
Tabla 21	Costos estimados de adaptación al cambio climático	132

Tabla 22	Servicios y problemáticas del recurso suelo en la sostenibilidad ambiental	134
Tabla 23	Sostenibilidad ambiental como megatendencia de investigación en el sector agropecuario de Colombia	144
Tabla 24	Roles de los actores en materia de conflictos ambientales	153
Tabla 25	Estrategias en sostenibilidad ambiental, variabilidad y cambio climático	156
Tabla 26	Indicadores de seguridad alimentaria y nutricional en Colombia, Suramérica y Dinamarca	166
Tabla 27	Seguridad alimentaria como megatendencia de investigación en el sector agropecuario en Colombia	180
Tabla 28	Indicadores de tecnologías de la información y las comunicaciones en Colombia	195
Tabla 29	Producción intelectual en investigación Colombia para tecnologías de la información y las comunicaciones	198
Tabla 30	Oferta vs. Demanda en tecnologías de la información y las comunicaciones para el sector agro	205
Tabla 31	Tecnologías de la información y las comunicaciones como megatendencia de investigación en el sector agropecuario	213
Tabla 32	Focos en CTi para el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología Agroindustrial	229
Tabla A.1	Directrices de tecnologías de la información y las comunicaciones como soporte a la I+D+i sectorial	259
Tabla A.2	Estrategias en sostenibilidad ambiental, variabilidad y cambio climático	268
Tabla A.3	Directrices en seguridad alimentaria	270
Tabla A.4	Estrategias para la megatendencia en agroenergías – materias primas	275
Tabla A.5	Estrategias para la megatendencia en agroenergías – productos	276
Tabla A.6	Estrategias para la megatendencia en agroenergías – materias primas	276
Tabla A.7	Estrategias para la megatendencia en agroenergías – transversales	278





Agradecimientos

A los colaboradores de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) Inés Toro, Corina Buendía, Gustavo Maldonado, Eliana Martínez, Luis Alberto Campuzano, Xavier Fargetton, Alba Marina Cotes, Andrea Montenegro, Carlos Espinal y Margaret Pasquini, por sus aportes en los procesos de construcción de los diagnósticos de base insumos de este documento, y su participación en los talleres de construcción colectiva de estrategias en ciencia, tecnología e innovación en áreas transversales al sector agroindustrial.

A los diferentes actores que participaron en los talleres de validación de directrices estratégicas en megatendencias, de entidades como el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Departamento Administrativo de Ciencia y Tecnología (Colciencias), Departamento Nacional de Planeación, la Secretaría de Industria y Comercio, el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenibles, la Universidad Nacional de Colombia, Universidad de La Salle, Fundación Universitaria Agraria de Colombia, Universidad de Ciencias Ambientales y Aplicadas, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH), la Federación Colombiana de Ganaderos, Sociedad de Agricultores Colombianos, Asociación Hortofrutícola de Colombia, el Instituto Amazónico de Investigaciones (SINCHI), Parques Nacionales Naturales de Colombia, la Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia,

Biointropica, Corpogen, Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI), Cámara de la Industria de Alimentos, el Instituto Nacional de Salud, Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos, Ministerio de Salud y Protección Social, la Federación Nacional de Avicultores de Colombia (Fenavi), Federación Nacional de Cultivadores de Cereales (Fenalce), el Servicio Nacional de Aprendizaje (Sena), entre otros.

Al equipo del Departamento de Articulación Institucional, Angélica Londoño, María Nancy Moreno, Heydi Carolina Garavito, Carlos Alberto Contreras, Olga Lucía Durán, Gloria Durán, Rubiela Rincón, Luz Andrea Yepes, Gregorio Zambrano, Sandra González Cerón, Diana Ruíz, Nicolle Castillo y Angélica Ramírez.





Introducción

Por su ubicación y relieve, en Colombia es posible establecer una gran variedad de sistemas de producción agropecuaria, representados en más de 240 cultivos agrícolas y más de diez sistemas de producción pecuaria. De acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR, s. f.), actualmente se han formalizado 38 cadenas productivas (26 agrícolas, 3 forestales y 9 pecuarias). El 38 % del área total del país (114,2 millones de ha) se dedica a actividades agropecuarias y de esta el 80 % se destina a pastos y el 19,7 %, a uso agrícola, lo que evidencia una mayor orientación de actividades hacia la ganadería bovina (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], s. f.a); sin embargo, en los últimos años la política pública ha fomentado la producción agrícola.

Este potencial excepcional del sector debe ser desarrollado a través del fortalecimiento de actividades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación coherentes con la realidad actual de las demandas de los diferentes actores, proveedores de insumos, productores, transformadores, comercializadores y consumidores, que conforman las cadenas productivas y sistemas productivos agropecuarios. Así, se hace necesario contar con instrumentos que no solo den cuenta de la dinámica de la oferta y demanda en ciencia, tecnología e innovación en el contexto nacional e internacional, sino que además establezcan directrices claras sujetas de seguimiento y evaluación para la formulación, financiación, ejecución y evaluación de proyectos.

Como elemento clave para poder dinamizar estas actividades en el sector agropecuario, la construcción de políticas públicas de planeación estratégica se convierte en un elemento necesario para formalizar las apuestas en el corto, mediano y largo plazo, asignar responsables y diseñar mecanismos de gestión a los requerimientos y resultados. Así es como a través de un proceso de construcción social y colectiva se genera el Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del sector Agropecuario Colombiano (Pectia), que tiene como objetivo: “Lograr

la generación, acumulación, socialización y aplicación del conocimiento para el cambio técnico de alto efecto en la competitividad, productividad y sostenibilidad de la industria agraria colombiana” (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica], Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación [Colciencias], & Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2016).

El plan estratégico mencionado está conformado por un diagnóstico del estado actual del sector en materia de ciencia, tecnología e innovación, la agenda nacional de investigación, desarrollo e innovación, las estrategias, líneas de acción y el mapa estratégico del sector agropecuario.

Este estudio se centró en la construcción de los 17 focos de ciencia, tecnología e innovación que abarcan las demandas de la agenda nacional de investigación, desarrollo e innovación y que se convierten en el eje central sobre el cual se direccionan las estrategias del Pectia. Para su construcción se diseñó e implementó una metodología de gestión estratégica que integra las herramientas de vigilancia del entorno, la vigilancia tecnológica, el diseño de estrategias y prospectiva, la cual permitió, a través de un método integrador de itinerario de ruta, la construcción colectiva de los focos.

Estos focos tienen su origen en el análisis de megatendencias de investigación en el contexto mundial, que inciden en la especificidad del sector agropecuario colombiano. Las megatendencias identificadas son biotecnología, biodiversidad, agroenergías, sostenibilidad ambiental, variabilidad y cambio climático, seguridad alimentaria y tecnologías de la información y las comunicaciones.

Para cada megatendencia se implementó la metodología de inteligencia competitiva y se caracterizaron sus elementos conceptuales —los cuales son clave del contexto sectorial—, las orientaciones específicas en investigación, las tendencias en investigación, las capacidades nacionales, los actores esenciales y la construcción de estrategias específicas, que se convierten en insumo para el diseño de estrategias.

Las estrategias fueron analizadas frente a las demandas de la agenda dinámica nacional de I+D+i a través de un análisis cualitativo de contenidos, para la construcción de 17 focos de CTi, validados y realimentados por actores sectoriales y expertos.





En este capítulo se describe y se acota el concepto de *megatendencias*, y la manera como este ha sido utilizado para la identificación de tendencias, la generación de directrices y el alineamiento de esfuerzos. Además, se describe el ámbito mundial, regional y local frente a focos de acción para estudio.

Introducción

Las megatendencias, acorde con Naisbitt (1984), describen cambios del entorno que inciden en factores sociales, tecnológicos, ambientales y políticos que, si bien se desarrollan lentamente, emergen de manera súbita e influyen en actividades, procesos y percepciones durante largos periodos, y así direccionan tendencias específicas.

Concretamente, son cambios a larga escala que se manifiestan de manera lenta, y se organizan en una o más dimensiones del entorno (social, económico, político, legal, tecnológico, ambiental). Existen cinco macrocategorías de megatendencias, que integran tendencias específicas que pueden ocurrir en diferentes contextos (tabla 1): las variaciones demográficas entendidas como cambios en aspectos estadísticos de la población de un territorio, por ejemplo, edad, tasa de natalidad y mortalidad, ingreso, distribución geográfica; los cambios en las condiciones políticas orientados a la dinámica de los procesos electorales, así como la formulación e implementación de programas y políticas públicas; los desarrollos en ciencia, tecnología e innovación, en los campos básicos, aplicados y adaptativos; las dinámicas económicas, entendidas como cambios en la producción de bienes y servicios, movimientos en la

económica global en materia de precios, flujos de comercio interno y externo, indicadores macroeconómicos y microeconómicos, etc., y variaciones sociales y culturales en los valores nucleares, creencias, ética y estándares morales que dirigen e influyen la participación de grupos de interés en la formulación y participación en políticas públicas.

Tabla 1. Clasificación sintética de las megatendencias

Macro-categoría	Megatendencias	Tendencias
Variaciones demográficas	• Envejecimiento de la población. • Migración y diversidad. • Crecimiento de la población, suburbanización y extensión.	• Hábitos de consumo, cuidado de adultos mayores, servicios médicos, brechas en la fuerza laboral por retiros. • Provisión de servicios de gobierno, capacidad de disminuir brechas en la fuerza laboral. • Demanda y efectos en el uso de la tierra, suministro de agua, condiciones climáticas, servicios, pequeños negocios, alianzas locales, etc.
Cambios en las condiciones políticas	• Aspectos electorales. • Federalismo. • Democracia participativa. • Privatización y tercerización.	• Reformas a la financiación de campañas: límites y restricciones. • Distribución y cobertura de la autoridad, impacto de políticas federales. • Sistemas de votación, referendos, iniciativas y cabildeo. • Provisión de servicios públicos por compañías privadas y trabajo en ultramar.
Desarrollos en ciencia, tecnología e innovación	• Bioingeniería • Fuentes de energía. • Privacidad y factores de seguridad. • Suministro electrónico de bienes y servicios.	• Células madre, diseño genético, ingeniería genética. • Fuentes alternativas de energía • Ciber terrorismo, monitoreo remoto, seguimiento en tiempo real. • Comercio electrónico, gobierno electrónico, servicios de salud electrónicos, servicios educativos electrónicos.

(Continúa)

(Continuación tabla 1)

Macro-categoría	Megatendencias	Tendencias
Dinámicas de la economía	• Globalización del comercio. • Suministro de energía. • Propiedad intelectual. • Factores de seguridad social.	• Prescripción a la importación de medicamentos, tratados de libre comercio, tercerización y deslocalización. • Disponibilidad y variabilidad en precios. • Estandarización local, regulaciones locales, regionales e internacionales. • Planes de beneficio, seguridad social, déficit pensional.
Cambios sociales y culturales	• Involucramiento gubernamental en política social. • Redefinición de la familia y el rol de la familia. • Redefinición de moralidad. • Espiritualidad. • Asimilación.	• Matrimonio entre parejas del mismo sexo, aborto, factores de separación de la Iglesia y el Estado. • Cabezas de familia, parejas no casadas, escolarización en casa. • Factores de censura, concepto de indecencia. • Medicina homeopática y diversidad de creencias espirituales. • Mantener la identidad étnica.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de The Council of State Governments (2017)

Focalizando el análisis en las megatendencias relacionadas en la macrocategoría de desarrollos en ciencia, tecnología e innovación (CTi), su impacto en los sectores productivos lleva a considerarlas elementos clave para el diseño, la formulación e implementación de estrategias, el seguimiento a planes de desarrollo tecnológico y el relacionamiento de la variable tecnológica con otros factores.

De manera transversal, los principales temas para 2020-2025 en megatendencias, desde la perspectiva de CTi, son las megaciudades, megarregiones, megacorredores tecnológicos y ciudades inteligentes, como medios de integración y fortalecimiento de capacidades en infraestructura, recursos humanos, recursos

financieros, entre otros. Asimismo, como unión de tecnologías de la información y las comunicaciones para potenciar la competitividad y productividad de empresas, cadenas y clústeres sectoriales, por ejemplo, computación en la nube, tecnología satelital, realidad virtual, realidad aumentada, robótica, inteligencia inalámbrica, tecnología de banda ancha, domótica, big data, impresión 3D y 4D, escalamiento de conexión hogar, trabajo y ciudad; economía circular, economía colaborativa, ciclo de vida de productos y servicios, entre otras (Zeev Efrat, s. f.).

Las megatendencias en CTi pueden ser seleccionadas a partir de aquellas que se considere que puedan impactar el entorno de mercado y negocio específico de un sector o una organización; además, qué tendencias específicas se consideran sostenibles en el largo plazo y de qué manera se convierten en factores críticos en el desarrollo de la estrategia, para la generación de productos y servicios como respuesta a oportunidades y condiciones emergentes. A continuación, se describen para el sector agropecuario y la agricultura las principales orientaciones y perspectivas, de las cuales se infieren las megatendencias en CTi.

Orientaciones y perspectivas para la agricultura: de lo mundial a lo local

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) define la agricultura como: “(...) el desarrollo de actividades que incluyen el establecimiento de cultivos, actividades de ganadería, actividades forestales, acuicultura, pesca, desarrollo de recursos de suelos y aguas; así como las actividades relacionadas con la agroindustria, manufactura de insumos agrícolas y maquinaria, desarrollo y extensión rural” (FAO, s. f.a).

En este sentido, el sector agropecuario es conceptualizado para esta investigación como “(...) aquel que contempla las actividades de producción primaria en los ámbitos agrícola, pecuario, forestal, pesquero y acuícola, así como las actividades de adecuación y transformación de los productos primarios en el contexto agroindustrial” (Corpoica et al., 2016, p. 142).

Como parte de la mirada global en CTi sectorial, Dobson y Akridge (1989) identificaron megatendencias que abarcan temáticas relacionadas con: 1) sistemas de información gerencial (tecnologías de la información y las comunicaciones [TIC]), Innovación en gestión, organización y comercialización;

2) análisis financiero; 3) marketing gerencial; 4) evaluación de la eficiencia del negocio; 5) competitividad empresarial enfocada en competitividad internacional y sectores de talla mundial; 6) impacto de nuevas tecnologías; 7) planeación estratégica; 8) comercio internacional; 9) gerencia de la innovación, y 10) problemáticas en pequeñas economías agrarias, así como en áreas propias de cada contexto particular.

En este sentido, el sector agropecuario, como motor del desarrollo económico de las naciones en América Latina y el Caribe, ha sido objeto de debate en diferentes instancias del orden local, regional y global (por ejemplo, Foro Ministerial organizado por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA] en Brasil, en 1999, con motivo de la Junta Interamericana de Agricultura [JIA], el lanzamiento de la estrategia agroalimentaria del Banco Interamericano de Desarrollo [BID] en New Orleans, en 2000, y las reuniones de Foro de las Américas para la Investigación y Desarrollo Tecnológico Agropecuario [Foragro] en México), donde los actores partícipes, principalmente tomadores de decisiones, coinciden en la importancia estratégica del conocimiento como insumo clave para el interrelacionamiento de la agricultura con otros sectores.

Así es como el direccionamiento estratégico de la investigación, el desarrollo y la innovación (I+D+i) retoma su importancia apoyándose en un sistema de gestión de la innovación modificado (ampliado), en el cual el Sistema Nacional de Investigación Agropecuaria (SNIA) sigue siendo importante por su capacidad de ofrecer conocimiento. Por supuesto, se trata de un reciente modelo de gobernanza cuya estructura incluye nuevos actores (industriales, consumidores, ambientalistas, grupos de investigación), nuevas trayectorias (de la sostenibilidad y la calidad alimentaria a la producción primaria) y nuevas formas de interacción (redes, acuerdos), que permiten adaptarse a los cambios del entorno.

Esta gestión de la CTi debe orientarse a las tendencias mundiales para el desarrollo agropecuario y, según un estudio de tendencias mundiales realizado por la Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés), (United States Department of Agriculture [USDA], 2018) las megatendencias en agricultura se enfocan en el crecimiento económico de la clase media, el valor del dólar (factor que incide sobre la capacidad de compra de los países), la producción de bioenergía y el papel de los tratados

de libre comercio (TLC), entre otros. Además, se señala la necesidad de trabajar sobre costos de producción de comida, los cuales están siendo cada vez más altos, en especial por el precio de los insumos. El USDA sugiere que los países identifiquen sus potencialidades para que la actividad productiva se desarrolle de manera competitiva, fundamentalmente a partir de desarrollos biotecnológicos y de TIC, teniendo en cuenta que estos son factores fuertes de diferenciación empresarial y sectorial.

Por otra parte, y de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2004), los cambios en el entorno sectorial se pueden sintetizar en factores clave, vinculados a la relación beneficio-costeo de las actividades de I+D+i agrícola, la asignación de recursos para investigación básica, aplicada y adaptativa, el acceso a los productos y servicios generados en las actividades de I+D+i por parte de los diferentes actores (productores, asociaciones de productores, firmas procesadoras, productores de semillas, etc.), la gestión de la CTi basada en elementos de corresponsabilidad e integración, para la definición de políticas de financiación desde la institucionalidad y la potencialización de los mecanismos de transferencia y adopción tecnológica para la transición entre investigación básica y aplicada.

La reunión de la Evaluación Internacional del Conocimiento, Ciencia y Tecnología Agropecuarios para el Desarrollo (IAASTD, por sus siglas en inglés), de 2009, permitió la evaluación del impacto del conocimiento de ciencia y tecnología en el espacio temporal del pasado, el hoy y el futuro, desde los enfoques: reducción del hambre y la pobreza, mejora de los medios de subsistencia y la salud rural, y desarrollo sostenible equitativo, social, ambiental y económico. Como resultado, el sector debe enfocar sus esfuerzos en la integración de las actividades de ciencia y tecnología con las demandas de las comunidades agrícolas, los mecanismos de financiación e incentivos, las estructuras formales y no formales de articulación de actores, y la manera como se gestionan las externalidades que inciden en pobreza y subsistencia, seguridad alimentaria, sostenibilidad ambiental, salud humana y nutrición, equidad, inversiones e investigación.

El Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR) y el International Food Policy Research Institute (IFPRI, 2016), en el informe sobre la política global alimentaria —que tiene como base los resultados del Foro de las Américas para la Investigación y Desarrollo Tecnológico

Agropecuario (Foragro, 2010)—, estableció las siguientes líneas de acción para América Latina y el Caribe:

- Incremento la productividad desde un enfoque de prioridad de especies menos atendidas y productos tradicionales de la zona intertropical, así como en esquemas de agricultura familiar, sin olvidar el uso del suelo.
- Retos para la adaptación a la variabilidad y cambio climático con tecnologías de mitigación en la producción agrícola y en sistemas agroforestales locales; fortalecimiento del rol de pequeños productores, estrategias gana-gana en la gestión de los recursos hídricos y fomento de recuperación de suelos.
- Mejora del intercambio de germoplasma: alternativas para la multiplicación y conservación de material vegetal, que fortalezcan la conservación de material vegetal *in situ* y *ex situ*, bajo esquemas de seguridad y soberanía alimentaria.
- Diversificación de servicios agrícolas para la producción de alimentos básicos, para los sistemas de consumo urbano en condiciones de calidad e inocuidad.
- Integración de cadenas de valor para mejorar la eficiencia de sistemas alimentarios, las prácticas poscosecha y transformación, el acceso a productos de agricultura familiar y el control de factores bióticos y abióticos.
- Desarrollo y promoción de las agroenergías, específicamente fuentes de materia prima que no compitan con la disponibilidad de alimentos. Priorizar el desarrollo de biocombustibles de segunda y tercera generación, así como el de energías verdes integradas a la seguridad alimentaria. Estudios de impacto.
- Conservación y gestión de los recursos suelo y agua: tecnologías y buenas prácticas para el uso del suelo y el agua, integración en el manejo de nutrientes, fertilizantes, biodiversidad y función agroecológica del territorio.
- Impulso de innovación institucional: modelos de integración y gestión de conocimiento inclusivo y extensivo a los diferentes actores de las cadenas de valor, desde el marco de sistemas de innovación (principalmente pequeños agricultores y agricultura familiar).
- Fortalecimiento de sistemas territoriales de innovación y redes de actores territoriales.

En el contexto colombiano, el análisis de tendencias en CTi para el sector agropecuario se soporta en las directrices establecidas en los planes y documentos gubernamentales de CTi, en el documento técnico de diagnóstico para el Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del sector Agropecuario Colombiano (Pectia), en el documento técnico de diagnóstico para la misión rural, así como en las diferentes instancias de construcción y validación a nivel de redes nacionales y territoriales, y en 14 áreas temáticas: 1) alimentación y nutrición humana y animal; 2) calidad e inocuidad de insumos y productos; 3) fisiología vegetal y nutrición; 4) fisiología y reproducción animal; 5) fortalecimiento de capacidades técnicas y funcionales; 6) manejo ambiental y sostenibilidad; 7) manejo cosecha, poscosecha y transformación; 8) manejo de suelos y aguas; 9) manejo del sistema productivo; 10) manejo sanitario y fitosanitario; 11) material de siembra y mejoramiento genético; 12) sistemas de información, zonificación y georreferenciación; 13) socioeconomía, inteligencia competitiva y desarrollo empresarial, y 14) transferencia de tecnología, asistencia técnica e innovación. Estas son el marco de referencia para la definición de demandas y el análisis de la oferta de actividades y productos de I+D+i.

La política pública nacional establece los lineamientos para la focalización de recursos de inversión y financiación de actividades en áreas de conocimiento prioritarias, basándose en las capacidades actuales y requeridas. Las principales áreas identificadas son energías renovables, salud y alimentación, biotecnología, nanotecnología y TIC (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2016).

A continuación, se describen con detalle las orientaciones de investigación en cada área.

- TIC: 1) desarrollo de aplicaciones sociales; 2) elaboración de contenidos digitales diferenciales; 3) comercio electrónico; 4) emprendimiento de TIC, y 5) aplicaciones de gobierno (*e-government*).
- Biotecnología y biodiversidad: 1) promoción del potencial de la biotecnología para el uso sostenible de los recursos de biodiversidad a través de acciones de conservación y aprovechamiento; 2) agrobiodiversidad y bioprospección, para la generación de valor agregado a la agricultura, y 3) agroecología: investigación para el aprovechamiento y la conservación de los servicios ecosistémicos a través del diálogo de saberes.

- Seguridad alimentaria: 1) desarrollo de planes para dinamizar las políticas públicas de seguridad alimentaria y nutricional, y 2) integración de capacidades científicas para garantizar condiciones de calidad e inocuidad químico-biológica.
- Sostenibilidad ambiental: orientar la investigación hacia una producción de alimentos sostenibles, con un enfoque de reducción del impacto sobre los recursos naturales.
- Agroenergías: promoción de biocombustibles de segunda generación y generación 1.5.

Conclusiones

El análisis de la dinámica de oferta y demanda en I+D+i, desde los ámbitos mundial, regional y local, es elemento clave para la formulación de políticas claras que orienten el desarrollo de actividades de CTi, la generación de negocios, el fortalecimiento de infraestructura y el acceso a servicios financieros y técnicos. Políticas que se concentren en las demandas y los requerimientos de actores y partes interesadas, en el uso apropiado de las tecnologías disponibles y requeridas, en la focalización en acceso y uso, en las orientaciones de cobertura, integración, impacto y diferenciación (por ejemplo, perspectivas de género, etnicidad y etarias.); en la articulación de ambientes de innovación para el desarrollo e inversión en infraestructura, en modelos de negocio, servicios y extensión, en desarrollo sostenible de agronegocios e inversión en modelamiento a través de alianzas público-privadas, en promoción de liderazgo y transferencia sostenible.

Después de analizar los tres ámbitos descritos con antelación mundial, regional y local, se identifican elementos en común que permiten deducir megatendencias específicas en CTi para la agricultura y el sector agropecuario. En la tabla 2 se presentan los elementos comunes en los tres ámbitos.

Tabla 2. Transversalidad en las orientaciones en agricultura

Megatendencia deducida	Elementos del ámbito mundial	Elementos del ámbito regional	Elementos del ámbito nacional
Biodiversidad y biotecnología	Competitividad a partir del fomento de desarrollos biotecnológicos.	Prioridad de especies menos atendidas y productos tradicionales de la zona intertropical. Conservación y gestión de los recursos suelo y agua.	Agrodiversidad y bioprospección, para la generación de valor agregado.
Agroenergías	Producción de bioenergía.	Desarrollo y promoción de las agroenergías.	Biocombustibles de segunda generación y generación 1.5.
Sostenibilidad ambiental, variabilidad y cambio climático	Sostenibilidad en las actividades de producción primaria.	Adaptación a la variabilidad y cambio climático con tecnologías de mitigación.	Impacto sobre los recursos naturales.
Seguridad alimentaria	Costos de producción de comida.	Sostenibilidad y la calidad alimentaria a la producción primaria.	Calidad e inocuidad químico-biológica.
TIC	Sistemas de información gerencial (TIC), innovación en gestión, organización y comercialización.	Conocimiento como insumo clave.	Desarrollo de contenidos digitales diferenciales.

Fuente: Elaboración propia

A partir de estos elementos se definieron cinco megatendencias clave para el sector agropecuario colombiano: 1) biodiversidad y biotecnología; 2) agroenergías; 3) sostenibilidad ambiental, variabilidad y cambio climático; 4) seguridad alimentaria, y 5) TIC. Estas fueron el objeto de estudio para la implementación de herramientas de inteligencia competitiva, específicamente vigilancia del entorno y tecnológica para la identificación de orientaciones, tendencias y capacidades como insumo para la construcción de directrices estratégicas y perspectivas de futuro, a partir del trabajo con expertos.



En este capítulo se describe el proceso metodológico implementado para el análisis de cada una de las cinco megatendencias clave, identificadas para el sector agropecuario. La metodología tiene como estructura base un itinerario de ruta (*Roadmap*) conformado por cuatro fases seudosecuenciales, toda vez que existen relaciones lineales, bidireccionales y ciclos de realimentación. Como factor de relacionamiento entre las fases, se considera la gestión de los flujos de información y conocimiento. El itinerario permite integrar herramientas de gestión estratégica como la vigilancia del entorno (diagnóstico), la vigilancia tecnológica y las sondas prospectivas.

Introducción

La técnica de itinerario de ruta se basa en la identificación de fases precedentes, subsecuentes y retroalimentaciones entre las herramientas, en un tiempo determinado para la obtención de resultados parciales que se articulan en un resultado final.

Para esta investigación, se implementó la metodología de inteligencia competitiva, la cual permite realizar el análisis estratégico de cada megatendencia. La inteligencia competitiva se basa en: “(..) la obtención, análisis, interpretación y difusión de información de valor estratégico sobre la industria y los competidores, que se transmite a los responsables de la toma de decisiones en el momento oportuno (...)” (Gibbons & Prescott, 1996, p. 3), para la definición de estrategias.

Como herramienta, la inteligencia competitiva tiene sus bases en la gestión de la información, la cual implica cuatro fases:

- Fase I: obtención o captura de la información pertinente sobre un tema, problema o proyecto, contexto, etc.
- Fase II: procesamiento, análisis e interpretación de la información específica del tema en estudio, lo que a veces exige la búsqueda de información adicional.
- Fase III: comunicación del análisis efectuado a la dirección de la empresa o entidad, instancias, actores involucrados (*stakeholders*), etc.
- Fase IV: toma de decisiones sobre la cuestión examinada por parte de los actores clave.

Desde este marco, la inteligencia se configura como un proceso estratégico que se apoya en la integración de herramientas específicas de gestión de la información (componente operativo y táctico), teniendo en cuenta un esquema de interacción basado en itinerarios de ruta o *roadmaps* (componente estratégico) y un marco de referencia concreta para cadenas productivas agroindustriales y megatendencias en investigación. El componente operativo y táctico toma las bases de la gestión de la información para el uso de las herramientas:

- Diagnóstico-vigilancia del entorno: busca caracterizar el contexto nacional y mundial del marco de referencia en estudio, ya sea un sistema productivo, una cadena productiva o una megatendencia de investigación.
- Escaneo tecnológico: basado en la vigilancia tecnológica;¹ es una herramienta para la adquisición, el empleo y uso de información secundaria sobre dinámicas, tendencias, relaciones y tópicos de la variable tecnológica (Aguilar, 1967; Choo, 2001; Choo & Auster, 1993), sustentada en la intervención de expertos con conocimientos del sistema y su entorno (Castellanos Domínguez, Fúquene Montañez, & Ramírez Martínez, 2011).
- Sondas prospectivas: Ortega San Martín (2002) define la prospectiva como un conjunto de herramientas para el análisis de tecnologías emergentes, directrices a nivel socioeconómico y elementos de política pública, para la formulación de planes estratégicos a largo plazo. Las sondas prospectivas buscan: 1) generación de consensos entre los actores involucrados; 2) diseño de visiones de futuro; 3) coherencia con iniciativas de desarrollo tecnológico e innovación, y 4) que influyan en los

¹ Vigilancia tecnológica: proceso cuyo objetivo principal es el análisis de tendencias en sistemas productivos y empresariales en contextos competitivos, comerciales, normativos, organizacionales y tecnológicos (Castellanos et al., 2011).

procesos de cambio organizacional (Medina Vásquez & Ortegón, 2006). Esto deriva en la construcción del escenario como marco de referencia en el horizonte de planeación (Mojica & Restrepo, 1991).

En la figura 1 se presenta el esquema adoptado, que integra las etapas que comprenden la captación de datos, su formalización en información, la contextualización de esta para generar conocimiento sujeto de asimilación y transferencia, y finalmente la inteligencia, que integra el uso y la evaluación del conocimiento generado.

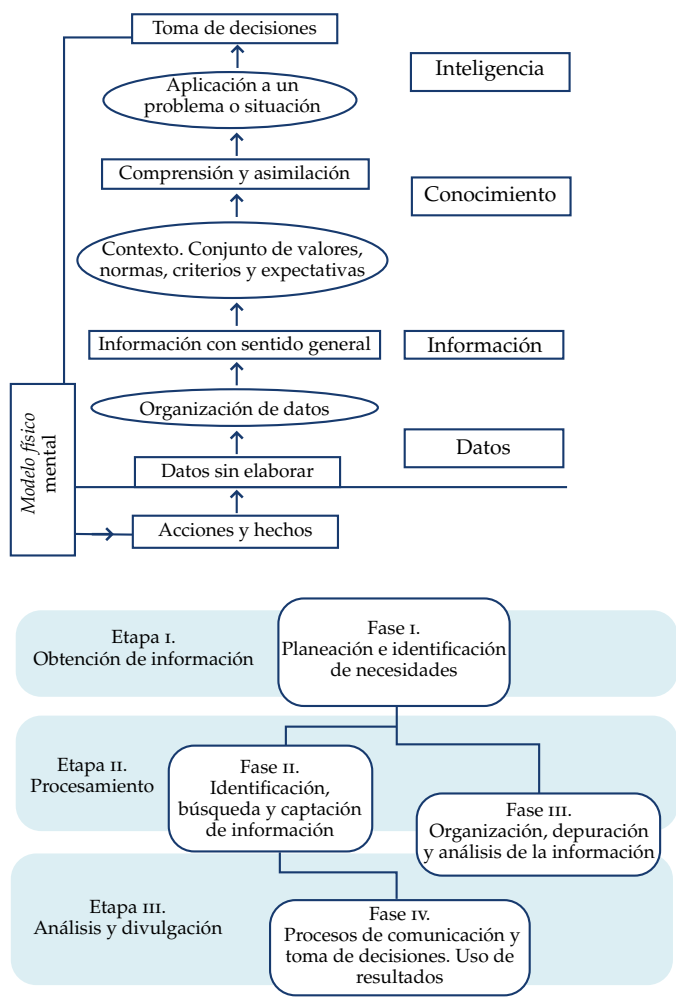


Figura 1. Proceso de gestión de la información para herramientas de gestión estratégica.
Fuente: Elaboración propia, a partir de Cetisme (2002); Torres, Flórez Martínez, Castellanos y Contreras (2009); Vargas y Castellanos (2005)

La integración de estas herramientas se realiza a partir del modelo de itinerarios de ruta (*roadmaps*), técnica de modelado que permite generar una estratégica gráfica y estructural para direccionar y comunicar, a través de relaciones sistémicas, la interacción entre herramientas de gestión y sus respectivas metodologías de uso (Flórez-Martínez & Ward-Argota, 2013).

Itinerario de ruta

El itinerario de ruta planteado abarca cuatro fases organizadas como procesos, precedentes, subsecuentes y retroalimentados, en un tiempo determinado.

- Fase I. Diagnóstico del contexto productivo: integra las herramientas de caracterización y vigilancia del contexto en sus entornos socioeconómico, tecnológico y político-normativo, a partir de los antecedentes y el estado actual del sistema.
- Fase II. Análisis de tendencias y referentes internacionales para el sistema productivo: integra las herramientas de escaneo tecnológico para la definición de tendencias de investigación en los niveles exógenos y endógenos del contexto en estudio, a partir del estado actual y antecedentes.
- Fase III. Construcción de estrategias: se formulan como oportunidades y limitaciones² (OyL) a partir de los resultados de las fases precedentes y se implementa el uso de herramientas como la matriz DOFA, según la especificidad del objeto de estudio. Las oportunidades y limitaciones son insumo para la construcción de estrategias.³
- Fase IV. Perspectivas de futuro: uso de herramienta prospectiva estratégica como el análisis Delphi, para trabajo con grupos focales de expertos (Linstone & Turoff, 2002), y la elaboración de escenarios futuros para la construcción de caminos o rutas de trabajo diferenciadas (Castro, Cobbe, & Goedert, 1995), que describen probabilidades, cambios, eventos o alteraciones, ya sea económicas, tecnológicas o políticas.

² Oportunidad: son aspectos que favorecen, mejoran o potencializan el desempeño del sistema productivo; limitación: son aquellas situaciones, eventos o factores que limitan, impiden o dificultan el desarrollo del contexto de estudio y su desempeño (Castellanos Domínguez, Torres Piñeros, & Domínguez Martínez, 2009).

³ La estructura de una estrategia debe responder, con relación al diagnóstico y al conocimiento de los expertos, a: 1) ¿para qué? (objetivo) y ¿para quién? (actores foco); 2) ¿qué? (requerimientos), y 3) ¿cómo? (medios disponibles) (ver anexo 2).

El modelo de itinerario de ruta diseñado se presenta en la figura 2.

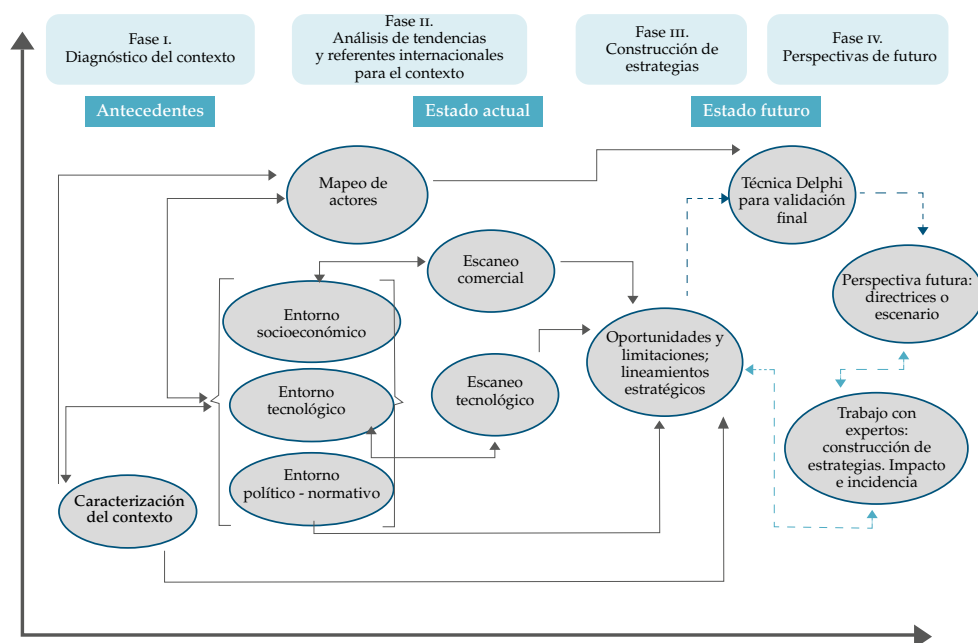


Figura 2. Itinerario metodológico de ruta.

Ruta 1: - - - - -

Ruta 2: - · - - - · - - -

Fuente: Elaboración propia, a partir de lineamientos en Montañez y Castellanos (2007)

De manera descriptiva, la integración metodológica del itinerario de ruta (figura 2) parte de la caracterización del contexto de estudio donde su construcción da como resultado el marco actual acotado a orientaciones a nivel exógeno y endógeno, para los entornos en las variables socioeconómicas, tecnológicas y político-normativas. Como punto de partida, la fase I define la ruta de acción, que varía dependiendo de si el contexto en estudio es una cadena, un sistema productivo o una megatendencia en investigación. Un elemento soporte es el mapa de actores, que contempla la caracterización de los individuos y las organizaciones que integran el contexto desde sus roles, funciones, aspectos importantes, entre otros factores. Sus resultados son insumo para la identificación de expertos clave.

Teniendo los tres entornos descritos, la información socioeconómica del sistema se convierte en insumo base para el desarrollo de la fase II, a través de un escaneo comercial. De manera homóloga, la información del entorno tecnológico permite direccionar la implementación de la herramienta escaneo tecnológico para la identificación de investigadores, organizaciones líderes en el contexto mundial en temas de investigación clave (aplicable tanto a cadenas productivas y sistemas productivos, como a megatendencias).

Los factores identificados en el análisis de los tres entornos, los resultados de los escaneos tecnológicos y los escaneos comerciales en términos de aspectos clave permiten diseñar el insumo para la fase III, que se bifurca en su análisis dependiendo del contexto de estudio. Para esta investigación se siguió la ruta 2 (figura 2).

Ruta 2. Megatendencias en investigación: los factores identificados y el mapeo de actores permiten la identificación de expertos, los cuales son convocados para un trabajo colaborativo y de construcción social de estrategias sujetas de ser priorizadas, que se convierten en insumo para proponer un escenario futuro orientado a una pregunta clave.

Los resultados de la fase III son los insumos para el diseño de futuros y directrices estratégicas formuladas por expertos con base en los resultados, o un escenario próximo construido de manera consensuada a partir del diseño, la valoración y priorización de estrategias como estado futuro del contexto. Estos resultados son sujetos de ser socializados y validados por los demás actores del contexto, identificados en el mapa de actores (fase IV).

Para cada una de las megatendencias identificadas se implementó la metodología descrita, en la cual los resultados se integran de la siguiente manera:

- Conceptualización de la megatendencia.
- Elementos clave del diagnóstico.
- Orientaciones del contexto nacional e internacional.
- Tendencias en I+D+i en el contexto nacional e internacional.
- Construcción de directrices estratégicas.
- Perspectivas de futuro.

Conclusiones

La adaptación de herramientas de inteligencia competitiva para el análisis de elementos clave del sector agropecuario ha evolucionado desde sus primeras implementaciones en la construcción de política pública en Colombia. En este punto, como primera experiencia se tiene el trabajo desarrollado por parte del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, que generó 24 agendas prospectivas de investigación, desarrollo tecnológico e innovación para igual número de cadenas productivas, junto con un manual metodológico para la definición de ese tipo de agendas. Dicho proceso referente para este tipo de investigaciones aportó la base conceptual y metodológica del estudio y permitió su adaptación al contexto de las megatendencias, para así generar un itinerario de ruta específico, con las mismas características de replicabilidad y adaptación.

La metodología permite profundizar si se requieren evidencias para cada tendencia, en temáticas y tópicos específicos, hasta poder ser implementadas junto con otras metodologías complementarias para la construcción de marcos de referencia, como soporte a la formulación de proyectos de I+D+i.

Así, más allá de las bondades del método, es importante señalar sus limitaciones, que recaen en el acceso a información secundaria en bases de datos especializadas, acceso a información no estructurada como documentos de política pública, actas de congresos de entidades referentes en el tema, consorcios de discusión especializados, así como en el proceso mismo de análisis de los datos, ya sea con herramientas de TIC tradicionales o especializadas, sujetas al pago de licenciamientos o versiones de prueba limitadas.

Finalmente, vale la pena reconocer que la estructuración metodológica ha permitido desarrollar trabajos de investigación con diferentes alcances contextuales, para el análisis de cadenas productivas, sistemas productivos específicos, política pública de ciencia, tecnología e innovación (CTi) y temas concretos en proyectos de investigación básica y aplicada como soporte referencial.

PIÑA
(*Ananas comosus*)

TOMATE DE ARBOL
(*Solanum betaceum*)



En este capítulo se describen los resultados de la implementación de la metodología descrita en el capítulo II, para la megatendencia de biotecnología y biodiversidad. Se generó como punto de partida la base conceptual de los términos *biotecnología* y *biodiversidad* en el ámbito mundial, para el posterior análisis de los entornos científico-tecnológico, político-normativo y socioeconómico, como caracterización del contexto de la megatendencia. Posteriormente, se especifican los tópicos clave de investigación en el ámbito internacional y nacional, y las capacidades nacionales para el desarrollo de esfuerzos en ciencia, tecnología e innovación (CTi) en esta megatendencia. Finalmente, a partir de estos insumos se presentan las directrices clave y perspectivas de futuro, construidas por expertos y actores decisivos de la megatendencia, que se convierten en insumo para la formulación de política pública.

Elementos conceptuales

A continuación, se desarrollan los conceptos principales de la megatendencia que permiten acotar el marco de referencia de estas.

Biodiversidad

El concepto de biodiversidad está sujeto al enfoque y a la percepción teniendo en cuenta el campo del conocimiento desde donde se aborde. Partiendo de la percepción biológica, hace alusión a los elementos biótico en la naturaleza, su clasificación y caracterización; desde las ciencias ambientales,

la biodiversidad es un valor intrínseco de los sistemas ambientales; desde las percepciones conservacionistas es un parámetro que permite entender las estructuras ecosistémicas de un entorno determinado. Así es como, ante la gran “diversidad” de aproximaciones y conceptos en la literatura académica y en instrumentos institucionales, en esta investigación se plantea la biodiversidad como: “(...) variedad estructural y funcional de las diferentes formas de vida a nivel genético, poblacional, comunidad y ecosistémico” (Sandlund, Hindar, & Brown, 1992, p. 3).

Acotado este concepto al sector agropecuario, la biodiversidad se entiende como toda diversidad biológica, que contribuye a la producción de alimentos y a la seguridad alimentaria. En los ecosistemas agrícolas (agroecosistemas), es especialmente importante el mantenimiento de la diversidad biológica, tanto para la producción de alimentos, como para la conservación de las bases ecológicas que aseguran la vida y el sustento de las poblaciones rurales (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2008b). Su alcance en el sector agropecuario comprende técnicas y procesos que buscan mitigar la degradación de los suelos, el ambiente y los hábitats de vida silvestre, la contaminación de las fuentes hídricas y el desplazamiento de la población rural. Sin embargo, se requiere integración de herramientas biotecnológicas, conocimiento de especies nativas, caracterización de bancos de germoplasma, ecosistemas sostenibles, productos diferenciados, bioseguridad, establecimiento de huellas de carbono y huellas ecológicas, bioprospección y estudio de especies de interés comercial para diseñar e implementar medidas que eviten riesgos a la biodiversidad.

Biotechnología

Para esta investigación se establece que la biotecnología se encarga de la producción de conocimientos, bienes o servicios mediante el empleo de organismos vivos, parte de ellos o de sus productos (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE], 2005), así como de “(...) toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos” (Naciones Unidas, 1992, p. 3). Esta definición incluye las aplicaciones médicas e industriales, así como considerables instrumentos y técnicas habituales en la agricultura y la producción de alimentos. Su alcance en el sector agroindustrial comprende la biotecnología verde o agrícola, la

cual abarca una variedad de tecnologías moleculares, como la manipulación de genes y su transferencia, la tipificación del ADN y la clonación de plantas y animales, focalizada a incrementar para incrementar la producción agropecuaria, obtener cultivos e inventario pecuario más eficiente, menor necesidad en el uso de agroquímicos, así como la promoción al consumidor de alimentos modificados genéticamente.

En el contexto colombiano se adoptaron las siguientes definiciones conceptuales de biotecnología y biodiversidad:

- Biotecnología: acorde con Ley 740 de 2002 (24 de mayo), por medio de la cual se aprueba el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica, la biotecnología se define como
(...) la aplicación de técnicas in vitro de ácido nucleico, incluidos el ácido desoxirribonucleico (ADN) recombinante y la inyección directa de ácido nucleico en células u orgánulos, o la fusión de células más allá de la familia taxonómica, que superan las barreras fisiológicas naturales de la reproducción o de la recombinación y que no son técnicas utilizadas en la reproducción y selección tradicional (...).
- Biodiversidad: se define como “(...) la variación de las formas de vida y se manifiesta en la diversidad genética, de poblaciones, especies, comunidades, ecosistemas y paisajes” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], s. f.a, p. 2).

Elementos clave del contexto de la megatendencia para Colombia

El entorno político normativo de la biotecnología y la biodiversidad para la CTi en Colombia cuenta con los programas nacionales del Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias) en:

- Programa de Ciencia, Tecnología e Innovación en Ambiente, Biodiversidad y Hábitat: apoyar y fortalecer la capacidad nacional y regional para la generación, el uso y la apropiación de conocimiento que contribuya al mejoramiento de la gestión ambiental y de los asentamientos humanos, como aporte al desarrollo sostenible del país.

- Programa Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación en Biotecnología: reúne las capacidades de investigación e innovación de universidades, centros de investigación y empresas, con el propósito de articularlos entre sí y con las entidades del Estado, para contribuir al incremento del desarrollo, el bienestar y la competitividad económica de Colombia, a partir del conocimiento, la protección y el aprovechamiento de la biodiversidad.

Estas dos instancias son primordiales para la definición de estrategias y lineamientos, no solo en materia de ciencia y tecnología, sino también en temáticas afines, como integración de actores estratégicos en esquemas tipo consorcio y parques tecnológicos, estímulo de temáticas en propiedad intelectual, iniciativas para el desarrollo de políticas públicas, iniciativas regulatorias para las actividades relacionadas con su campo, fortalecimiento de capacidades en recurso humano e infraestructura, diseño de mecanismos de financiación y acceso a recursos, entre otros.

De manera general, la política pública en biotecnología y biodiversidad cuenta con un amplio número de instrumentos, en los que se destacan la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE), la cual recoge y direcciona los esfuerzos y resultados obtenidos en la gestión de más de 15 años del Plan de Acción Nacional en Biodiversidad: Colombia Biodiversidad Siglo XXI, así como la Política para el Desarrollo Comercial de la Biotecnología (Conpes 3697 de 2011), que establece estrategias clave para la promoción de la biotecnología a partir del potencial de la biodiversidad nacional.

La importancia de la biotecnología es argumentada en documentos de política pública, como los planes nacionales de desarrollo, donde el plan actual *2015-2018 Todos por un Nuevo País: Paz, Equidad, Educación* establece la necesidad de:

- Implementar una estrategia de bioprospección para el aprovechamiento comercial e industrial, así como el acceso a recursos genéticos o productos derivados de estos, bajo esquemas de participación colaborativa de entidades nacionales, centros de investigación, la academia e industrias de base tecnológica.
- Usar herramientas como inventarios de biodiversidad, mecanismos regulatorios y de mercado, para la valorización de los recursos genéticos y productos derivados de regiones de alto potencial como la Amazonia, el Pacífico y las áreas marinas.

- Fortalecer el Sistema Nacional de Bioseguridad acorde con los lineamientos del Protocolo de Cartagena.⁴

Algunos retos por superar respecto al uso de la biotecnología para el aprovechamiento de la biodiversidad son el marco de acceso establecido por el decreto que reglamenta la Decisión Andina 391 de 1996, en lo que concierne al componente intangible asociado a los recursos genéticos y sus productos derivados; los avances frente al diseño y la implementación de la agencia/empresa nacional de bioprospección, y la definición de un responsable de coordinar la política para la promoción, el fomento y la creación de empresas de base tecnológica y biotecnológica dirigida al desarrollo comercial del sector. Además, se decidió no crear la comisión intersectorial para el desarrollo comercial de la biotecnología a partir del uso sostenible de la biodiversidad.

El entorno socioeconómico de esta megatendencia se calcula en el estado actual de sus indicadores de medición para Colombia, de variables específicas. La biodiversidad en Colombia se mide en función de componentes que den cuenta de esta como un sistema integral, que interacciona de manera estrecha e interdependiente con los sistemas humanos, a nivel social, político, económico, tecnológico y cultural (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT] & Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt [IAvH], 2008). Colombia presenta 311 tipos de ecosistemas continentales y costeros, acordes con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) et al. (2007). En la tabla 3 se presentan algunos indicadores clave para la medición de variables que inciden en la biodiversidad nacional.

⁴ Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica es un instrumento internacional que regula los organismos vivos modificados, producto de la biotecnología moderna.

Tabla 3. Indicadores clave de biodiversidad en Colombia

Indicador	Valor
Ecosistemas	Bosques naturales: 61.246.659 ha; páramos: 2.067.987 ha; humedales: 2.711.473 ha; sabanas naturales: 10.017.163 ha; cultivos: 9.346.948 ha; pastos: 17.313.886 ha. Total continental: 114.049.388 ha y total marinos: 6.402.687 ha.
Comunidades	1.188 comunidades vegetales en el país, distribuidas en las regiones de la siguiente manera: región alta andina con 595, seguida por la Amazonia, Orinoquia, Pacífico y Caribe con 193, 164, 129 y 127, respectivamente.
Especies y poblaciones	Riqueza global: 12 % de la riqueza vegetal del planeta. Dos puntos calientes de biodiversidad, los Andes y el Chocó biogeográfico.
Agrobiodiversidad	9 razas criollas bovinas, 26 razas de gallinas criollas, 5 razas de ganado porcino, 5 de ganado caprino y 11 de ganado ovino. 38 géneros y 7 especies de parientes silvestres de plantas cultivadas y forrajeras. Banco de germoplasma: 15.840 accesiones.
Genes	45 contratos de acceso con fines de investigación en el periodo 2004-2011.
Transformación y pérdida de ecosistemas	Transformado 31,3%. No transformado 68,7%. 16.136.983 ha se encuentran degradadas.
Invasiones biológicas	176 especies exóticas, 17 se encuentran en el listado de las 100 especies más invasoras del planeta.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Asociación Nacional de Caprinocultores y Ovinocultores (ANCO, 2010); Ávila Castillo (2016); Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2002); Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2011); Ganado Criollo Colombiano. (s. f.); Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2012)

La biodiversidad nacional, y su aprovechamiento desde la biotecnología, está sujeta a factores que inciden en su comportamiento y accionar, los cuales son exógenos a esta. Las variaciones son principalmente ocasionadas por la acción directa de las actividades humanas de asentamiento, producción y extracción, lo que ocasiona el alcance de los límites de transformación y extracción de recursos y servicios de los sistemas socioecológicos, y de esta manera se superan los umbrales de estabilidad y cambio. Dichas actividades se conocen como motores directos de transformación y pérdida de la biodiversidad.

Acorde con Trigo, Falck-Zepeda y Falconi (2010), en su estudio titulado *Biotechnología agropecuaria para el desarrollo en América Latina: oportunidades y retos* se establecen algunos indicadores que dan cuenta del grado de desarrollo de Colombia frente a la megatendencia de biotecnología (tabla 4).

Tabla 4. Indicadores clave de biotecnología en Colombia

Indicador	Valor
Inversiones totales en biotecnología agropecuaria (miles de unidades de moneda local, 2006/2007).	Privado: 3.112.412. Público: 22.774.270. Total: 25.886.682.
Inversiones totales en biotecnología agropecuaria (miles US\$, 2006/2007).	Público: 4.009. Privado: 426. Total: 4.435.
Número de técnicas en biotecnología por sector.	Privado: 8. Público: 150.
Distribución de técnicas por país y por tipo general de técnicas incorporadas (en valores absolutos, 2006).	Técnicas de cultivos celulares y tejidos: 63. Técnicas de marcadores moleculares: 29. Técnicas de diagnóstico: 11. Técnicas de ADN recombinante: 14. Técnicas de transformación genética: 17. Técnicas genómicas funcional y estructural: 16. Otros: 6. Confidencial: 2.
Alianzas estratégicas con instituciones de investigación avanzadas.	Centros internacionales: 40. Multinacionales: 12. Compañías nacionales: 17. Cooperativas: 25. Otros: 53. Universidades extranjeras: 59. Universidades nacionales: 48. Alianzas privadas totales: 10. Alianzas publicas totales 244. Total: 254.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Trigo, Falck-Zepeda y Falconi (2010)

En el entorno de capacidades se ha promovido la formación de recurso humano especializado, desde los programas de CTi, para la ejecución de proyectos de I+D+i, la publicación de artículos científicos en revistas indexadas y el fortalecimiento de grupos de investigación. En la tabla 5 se sintetizan las capacidades en biodiversidad y biotecnología.

Tabla 5. Capacidades en biodiversidad y biotecnología en Colombia

Indicador	Biodiversidad	Biotecnología
Formación recursos humanos.	792 becas en ciencias básicas para doctorado. 2330 becas en ciencias básicas para maestría.	722 investigadores, de los cuales 444 tienen nivel de maestría, 241, de doctorado y 37, de postdoctorado
Inversión proyectos de CTi.	114 proyectos financiados. 236.120 millones de pesos.	Entre 2010 y 2014 86.023,36 millones de pesos en biotecnología, 49,1 % desde Colciencias, 30,4 % desde el sector de investigación y 20,5 % desde el sector privado.
Grupos de investigación.	855 grupos de investigación reconocidos en el área de ciencias naturales. 254 grupos asociados al programa de Ciencia, Tecnología e Innovación en Ambiente, Biodiversidad y Hábitat. 322 grupos en ciencias biológicas.	82 grupos de investigación en las áreas de ciencias agrícolas (9), ciencias médicas y salud (4), ciencias naturales (55) e ingeniería y tecnología (14).
Centros especializados.	3 institutos: IAvH, Invemar y Sinchi.	33 centros de I+D en ciencias de la vida (14 en salud, 4 en agricultura, 3 en biodiversidad, 2 en acuicultura, entre otros).

Fuente: Elaboración propia a partir de Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias, s. f.a)

Orientaciones en los contextos nacional e internacional para la megatendencia

Las directrices de base para el desarrollo de iniciativas de I+D+i se identifican a través del análisis de documentos sectoriales, institucionales y de política pública específicos o afines a la megatendencia. El objetivo de este análisis es establecer el marco de referencia sobre el cual deben ser formulados los proyectos de CTi.

Orientaciones en el contexto nacional

En el contexto nacional, respecto a la biodiversidad y la biotecnología, la política del MADS (2012) propone generar una gestión integral para la planificación, la ejecución y el monitoreo de acciones orientadas para la conservación de la biodiversidad a través de servicios ecosistémicos.

En este sentido, se generan líneas estratégicas en ejes temáticos, de los cuales el más relacionado con el sector agropecuario es el de conservación y cuidado de la naturaleza. En este, el fortalecimiento de las actividades de recuperación, protección y conservación *in situ* y *ex situ* de variedades autóctonas de animales domésticos y plantas cultivadas y sus relativos silvestres son fundamentales para el mantenimiento de la seguridad alimentaria y la adaptación al cambio ambiental. Esto se enmarca en un enfoque de desarrollo económico, competitividad y calidad de vida, donde tiene relevancia la incorporación y el mantenimiento de los sistemas de conservación de la biodiversidad, frente a la conservación de los servicios ecosistémicos y el equilibrio con los sistemas productivos (MADS, 2012).

El sistema de bancos de germoplasma en el país es uno de los factores que apuesta a la conservación y uso de la biodiversidad. Esta es una estrategia consolidada que amplía las posibilidades para el desarrollo de bioproductos que benefician el sector agropecuario, para lo cual existe un potencial teniendo en cuenta el aprovechamiento de nuevas accesiones y colecciones adicionadas. Desde esta práctica, se han desarrollado procesos y productos con valor agregado requeridos por el sector agropecuario del país, de forma directa o mediante alianzas estratégicas con otras entidades del sector, públicas y privadas. Lo anterior ha respondido a la Política Nacional

de Biodiversidad: Conservación, Conocimiento y Utilización Sostenible (Cotes, Barrero, Rodríguez, Zuluaga, & Arévalo, 2012).

Desde un enfoque sostenible de la utilización de la agrobiodiversidad, se tienen en cuenta aspectos importantes, como: 1) conservación apropiada de los recursos biológicos; 2) implementación de procesos de conocimiento de la variabilidad presente en la agrobiodiversidad; 3) documentación adecuada de los atributos presentes en los materiales biológicos, 4) promoción y apoyo a los programas de premejoramiento y mejoramiento con visión sistémica de los materiales biológicos élite (Lobo-Arias & Medina Cano, 2009).

La biotecnología y la biodiversidad en Colombia representan una de las grandes ventajas competitivas para el correcto aprovechamiento de los recursos naturales. La política pública, específicamente los documentos Conpes 3527/2008, 3582/2009 y 369, establece un marco de referencia para el desarrollo de empresas y productos comerciales basados en el uso sostenible de la biodiversidad y la aplicación de la biotecnología desde lineamientos de bioprospección.

Esta última representa para Colombia una alternativa de desarrollo económico, generación de empleo, conservación de la biodiversidad, formación de recurso humano altamente calificado, organización y alianza entre grupos de investigación nacional e internacional, fortalecimiento de la plataforma tecnológica del país y de cadenas productivas asociadas a algunos sectores industriales. En este contexto, se destaca el Programa Nacional de Bioprospección para el sector agropecuario, que fue planteado con un enfoque de sostenibilidad como foco de desarrollo para cadenas de valor (Cotes et al., 2012).

En la tabla 6 se sintetizan los factores clave para Colombia y su correspondencia con el marco de referencia mundial.

Tabla 6. Factores que afectan la biodiversidad y su aprovechamiento desde la biotecnología

Factor global	Factor Colombia	Especificidad	Indicadores
Transformación y pérdida de ecosistemas y hábitats naturales.	Cambios en el uso del territorio (continental o acuático), su ocupación y la fragmentación de sus ecosistemas.	- Transformación directa y pérdida de ecosistemas naturales o seminaturales. - Transformación de sistemas productivos que mantienen elementos y procesos de la biodiversidad. - Desarrollo de infraestructura. Represamientos y cambios de cursos de agua.	- Transformado 31,3 %. - No transformado 68,7 %. - Tasa de deforestación: 238.273 ha/año entre 2005 y 2011. 16.136.983 ha se encuentran degradadas, siendo las coberturas de cultivos, pastos y la vegetación secundaria las que representan el mayor grado de perturbación (45,6%)
Sobreexplotación	Disminución, pérdida o degradación de elementos de los ecosistemas nativos y agroecosistemas.	- Sobreutilización de poblaciones de especies (terrestres y marinas). - Degradación de ecosistemas. - Pérdida de diversidad genética de cultivos y variedades.	- Tala ilegal: 42 % del total extraído. - Uso de madera como combustible dendroenergético: 21.000 kilo toneladas/año entre 2000 y 2008. - No existe en Colombia un inventario consolidado que permita establecer su pérdida en especies silvestres, ni cultivadas.
Invasiones biológicas	Invasiones biológicas	- Introducción y trasplante de especies. - Introducción y liberación de organismos vivos modificados (ovm).	- Dominan las introducciones intencionales relacionadas con el comercio y han sido identificadas 176 especies exóticas, de las cuales 17 se encuentran en el listado de las 100 especies más invasoras del planeta. 137 especies de peces (82 introducidas y 57 trasladadas) de aguas continentales y salobres.

(Continúa)

(Continuación tabla 6)

Factor global	Factor Colombia	Especificidad	Indicadores
Contaminación	Contaminación y toxificación	- Contaminación orgánica de aguas y suelos. (eutrofización N y P). - Contaminación química y otra (aire, suelo y agua).	2008 la carga total de DBO se estimó en 819.235 t/año, de los cuales se removió por tratamiento de aguas residuales solo el 11 %, lo que da como resultado un promedio de vertimientos diario de 2026 t. 2008: la carga vertida de nitrógeno (N) fue de 117.000 t y de fósforo, de (P) 29.400 t. - Materia orgánica generada por las actividades industriales en 2008 fue de 639.765 t (1,752 t/día).
Cambio climático.	Cambio climático.	Emissiones de gases de efecto invernadero.	- Emissiones de CO₂ 1,6 t/hab entre 2010 y 2014. - Emissiones de metano 66.694 Kt en 2010-2014. - Emissiones de NO₂ 25.142 Kt entre 2010 y 2014. - Emissiones de metano de actividades agrícolas 65,7 % con respecto al total de emisiones entre 2010 y 2014. - Emissiones de NO₂ de actividades agrícolas, 80 % con respecto al total de emisiones entre 2010 y 2014.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de MADS (2012)

Finalmente, en términos de ciencia, tecnología e innovación la megatendencia biodiversidad y biotecnología en Colombia cuenta con los siguientes lineamientos estratégicos.

- Fortalecer y fomentar la gestión del conocimiento y la información para orientar y sustentar la toma de decisiones respecto a la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, así como para incrementar su valoración integral (económica y no económica) por parte de sectores económicos, ambientales y sociales.
- Inclusión y armonización de prioridades de investigación sobre biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, en las políticas y planes nacionales relacionados con ciencia, tecnología e innovación.
- Fortalecimiento de procesos de inventario y monitoreo de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, a través de cartografía a escalas adecuadas, colección y evaluación de componentes, estructuras y funciones de la biodiversidad.
- Adelantar la identificación de umbrales de estabilidad y cambio de sistemas socioecológicos a diferentes escalas, para orientar la toma de decisiones sobre el territorio, especialmente aquellos relacionados con el uso de la biodiversidad en sus diferentes niveles de organización.

Orientaciones en el contexto mundial

En el contexto mundial, diferentes organismos como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR), el Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IAPRI, por sus siglas en inglés) el World Wildlife Fund (WWF), entre otros, han generado numerosos estudios y análisis sobre los cuales se promueven orientaciones específicas para la biotecnología y la biodiversidad en el sector agropecuario:

- Conservación de la biodiversidad agrícola como recurso básico para la alimentación y la agricultura, a través de procesos innovadores para explotar su potencial y utilizar de forma sostenible sus componentes.
- Mejora de la vinculación entre la conservación y el uso de la diversidad biológica como parte de una innovación estratégica, para un desarrollo sostenible en las regiones rurales.
- Fortalecimiento de la cooperación internacional para fomentar la gestión de los recursos biológicos de los alimentos, la agricultura, la silvicultura, la producción pecuaria y la pesca.

- Generación de infraestructura eficiente de conservación de especies agrícolas potenciales *in situ* y aprovechables *ex situ* a largo plazo.
- Actualización periódica del inventario disponible de componentes *in situ* y *ex situ* de la diversidad biológica para alimentación, agricultura, silvicultura y pesca.
- Mayor utilización de recursos genéticos para permitir su utilización innovadora y sostenible, y así evitar un detrimento ambiental.
- Promoción del acceso justo y equitativo a recursos genéticos para la alimentación y la producción agropecuaria, para su uso por parte de los actores locales, así como la sinergia entre el conocimiento de los asociados y los saberes de comunidades indígenas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2015b).
- Impulso de la colaboración entre diferentes grupos de investigación como medio imprescindible para el intercambio de conocimiento.
- Creación de políticas de estado que apunten a mejorar la disponibilidad local de infraestructuras y financiación para aprovechar de manera plena los recursos humanos hacia la solución de problemas de alto impacto social.
- Fortalecimiento y promoción de la interacción entre las empresas y los centros de investigación científica.
- Establecimiento de vínculos de cooperación internacional para complementar las necesidades de equipamiento y de capacidades técnicas de los diferentes centros y grupos de investigación en biotecnología agrícola.
- Impulso al desarrollo de patentes como factor competitivo y estrategia comercial en un mercado diferenciado.
- Inclusión del pequeño y mediano productor como actor que demanda desarrollos biotecnológicos de eficacia comprobada en campo y de alto impacto.
- Enfoque de bioseguridad como parte de las regulaciones correspondientes a seguridad alimentaria y sanidad vegetal y animal.
- Fortalecimiento de la transferencia de tecnología vinculada a los programas de mejoramiento en cultivos con enfoque participativo de los productores.
- Creación de alianzas público-privadas como factor importante en la producción y comercialización de productos biotecnológicos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2011a).

En síntesis, la biotecnología se convierte en una herramienta clave para el aprovechamiento de la biodiversidad. En este punto, para las especificidades del sector agropecuario es necesaria la diversificación de las fuentes básicas de alimentación, con lo cual se buscan factores de productividad y sostenibilidad

en las actividades primarias, así como de eficiencia y eficacia en las de transformación. Para esto se debe fomentar la interacción con actores internos y externos para la gestión de recursos biológicos, el desarrollo de infraestructura tecnológica de conservación y uso; las políticas de acceso, los mecanismos de financiación, las alianzas público-privadas, la propiedad intelectual y los procesos de vinculación para la adopción y adaptación de oferta tecnológica de base biotecnológica y biodiversidad.

Tendencias en I+D+i en los contextos nacional e internacional

A partir de la implementación de la vigilancia tecnológica, se identifica para la biotecnología y la biodiversidad —como megatendencias de investigación— la dinámica de publicaciones en relación con artículos científicos, países e instituciones líderes, así como los principales tópicos o líneas de trabajo.

Contexto internacional de la biotecnología y la biodiversidad

Para desarrollar elementos de comparación del contexto nacional de la megatendencia, se desarrolla a continuación el contexto internacional como marco referente.

Biodiversidad

En la figura 3 se presenta la dinámica creciente en biodiversidad, que alcanzó en 2017 105.622 publicaciones en agricultura y ciencias biológicas (a 2018 se han publicado 60.620). Los países líderes en esta megatendencia son Estados Unidos, China, Reino Unido, Alemania y Brasil en el contexto global, y se cuenta con organizaciones líderes como la Universidad de Wageningen, la Academia China de Ciencias, la UC-Davis, la Universidad de Florida y la Universidad de Sao Paulo. En el contexto de América Latina y el Caribe, Brasil tiene 50.058 publicaciones y es el líder regional, seguido de México con 16.609, Argentina con 14.491 y Chile con 7.309. Colombia participa con 5.642 publicaciones.

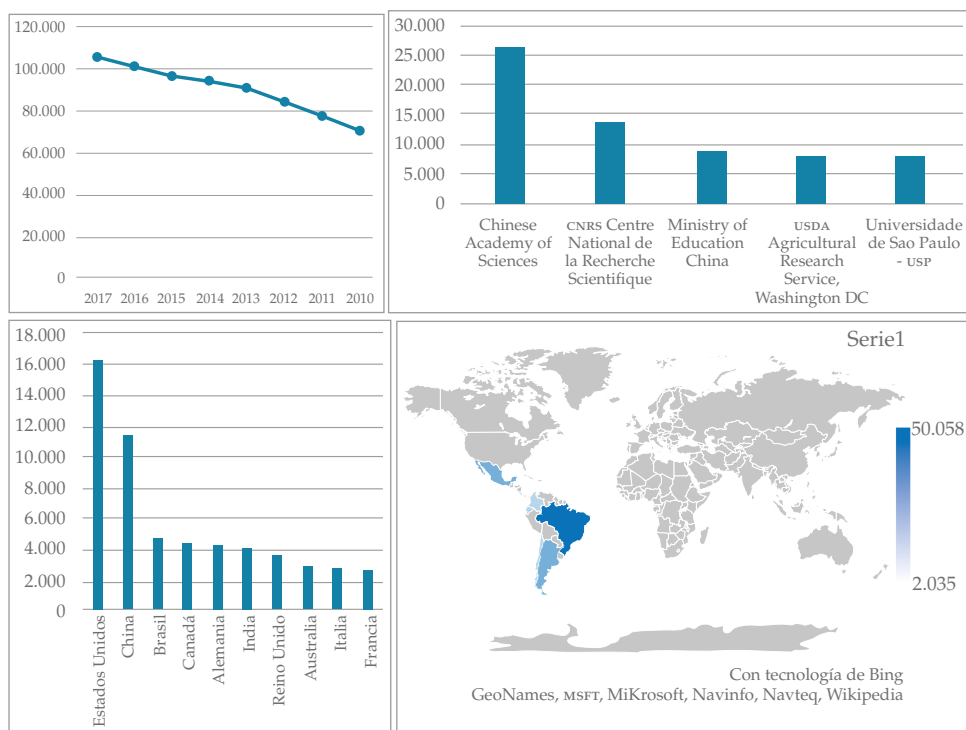


Figura 3. Biodiversidad como megatendencia en investigación en agricultura y ciencias biológicas. Publicaciones científicas 2010-2017.
Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Scopus (s. f.)

Las temáticas tendenciales en biodiversidad en relación con agricultura y ciencias biológicas abarcan diversidad de fauna entomológica en cultivos agrícolas anuales, agroforestería y ecosistemas de bosques, estrategias de manejo de biósferas en el marco de la actividad agrícola, monitoreo de la biodiversidad de especies de plantas, cambios y estrategias de conservación, complejidad en la conservación de biósferas en áreas protegidas y áreas de uso, fronteras agrícolas, sistemas tradicionales de agroforestería y conservación de la biodiversidad y recursos genéticos de especies silvestres de cultivos de importancia económica y de seguridad alimentaria. Los asuntos de base para esta megatendencia son la identificación biológica a través de códigos de barra de ADN, las consecuencias genéticas de la variación climática, la gestión del hábitat para la conservación de depredadores naturales de plagas de cultivos e importancia de polinizadores en cultivos y diversidad biológica en el suelo incidente en la agricultura. Algunos temas emergentes son el estudio de

biodiversidad en bosques sub y tropicales, los efectos en el largo plazo de los sistemas de cultivo en la incidencia de malezas, estudios de variación espacio temporal de factores que afectan la biodiversidad en zonas de producción y paisaje agrícola, como directriz de la biodiversidad.

En cuanto a la biodiversidad, son recurrentes las investigaciones en técnicas y procesos que repercuten en degradación del medio ambiente, contaminación de los suministros de agua, degradación de suelos, pérdida de biodiversidad y de hábitats de vida silvestre, y desplazamiento de la población rural. Por otro lado, se requiere integración de herramientas y potencial de biodiversidad agrícola a través de la biotecnología, especies propias, caracterización de bancos de germoplasma nativos, ecosistemas sostenibles, productos diferenciados, bioseguridad, huellas de carbono, huellas ecológicas, bioprospección, especies de interés comercial, etc., para aconsejar, diseñar, planificar, implementar y sugerir medidas que eviten riesgos a la biodiversidad, que se originan en la contaminación de tierras, de aguas subterráneas, de lagos, de ríos y mares; en la actividad minera, en el avance de la frontera agropecuaria y en la urbanización.

De igual manera, es necesario que los sectores productivos, en especial el agropecuario, adapten las normas internacionalmente aceptadas, aunque la participación de científicos y tecnólogos iberoamericanos como agentes evaluadores es crucial para no aceptar cualquier reglamentación sin considerar su pertinencia en la región, o sin modificar para tener en cuenta características regionales.

Biotechnología

La biotecnología ha presentado un desarrollo notorio, especialmente en la ingeniería genética, como herramienta para incrementar la producción agrícola y contar con un inventario pecuario más eficiente. Esto ha tenido como consecuencia la disminución en el uso de agroquímicos, así como la promoción al consumidor de alimentos modificados genéticamente. Es un campo que desde hace tiempo despierta el interés de los políticos y gestores de la ciencia. Sus potencialidades para el desarrollo son amplias y se estima que dentro de 20 años los productos biotecnológicos alcanzarán el 5% del PBI de los países desarrollados.

En la figura 4 se presenta la dinámica creciente en biotecnología, que alcanzó en 2014 62.167 publicaciones, relacionadas con agricultura, en países líderes como Estados Unidos, China, Reino Unido y Alemania en el contexto mundial, y se contó con organizaciones representativas como el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés), la Universidad de California Davis, la Universidad de Wageningen, la Universidad de Florida y la Académica China de Ciencias. En el contexto de América Latina y el Caribe, Brasil es el líder regional, con 26.018 publicaciones, seguido por México con 9549 y Argentina con 8143.

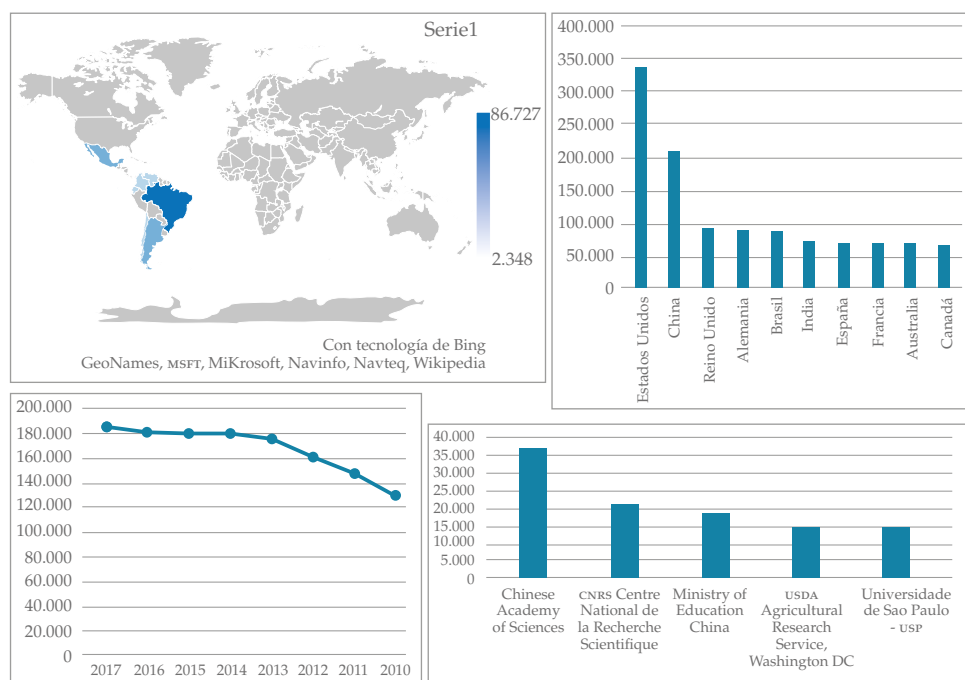


Figura 4. Biotecnología como megatendencia en investigación en agricultura y ciencias biológicas. Publicaciones científicas 2000-2014.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Scopus (s. f.)

Las temáticas tendenciales en biotecnología en agricultura contemplan plantas transgénicas productos e impactos, impacto de cultivos *Bacillus thuringiensis* (Bt) en plagas y enfermedades, aspectos abióticos de los cultivos Bt, riesgos en la implementación de cultivos Bt, impactos ecológicos, diseño de biocontroladores y bioinsumos. Las temáticas de base contemplan la potencialidad de los aceites esenciales en la industria de alimentos, tratamiento de biomasa lignocelulósica,

análisis filogenético, resistencia adquirida sistemática, comercialización de biocontroladores, fotoestabilización de agentes biológicos, productos naturales con acción antihongos a partir de bacterias de biocontrol.

En la tabla 7 se presentan las tendencias en biotecnología industrial aplicables al sector agropecuario, acordes con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), entre las que de manera global se destacan bioquímicos, biocombustibles y biomateriales (OCDE, 2005).

Tabla 7. Tendencias en biotecnología industrial aplicables a la agroindustria

Tendencias	Descripción
Catalizadores de célula entera	Mejorar la producción de aminoácidos.
Enzimas	Estabilidad.
Procesos biotecnológicos	Fermentación, catálisis enzimática, etc.
Equipos	Biorreactores, catalizadores,
Productos biológicos intermedios	Reemplazar productos provenientes de la industria petroquímica.
Procesos mixtos	Combinar biotecnología y síntesis química tradicional.
Biopolímeros	Biopolímeros de polisacáridos. Polímeros basados en biomasa. Poliésteres basados en intermedios de biomasa.
Materia prima de alimentación renovable	Azúcares y ácidos grasos. Uso en biocombustibles. Cultivos energéticos.
Fitomejoramiento para fines industriales	Optimización de biomasa en cultivos energéticos.
Acuicultura	Cultivos de alga para obtención de productos de alto valor agregado como bioaceites, carotenoides, biocombustibles.
Gas de síntesis	Producción a través de azúcares, almidón y ácidos grasos de frutas.
Biorrefinerías	Conglomerados industriales especializados en la obtención de biocombustibles.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información en Kircher (2010) y OCDE (2005)

Así, pues, se define a nivel de agroindustria el uso de la biotecnología industrial en dos niveles: 1) *commodities* de larga escala, para biocombustibles y químicos, y 2) *commodities* de pequeña escala, para químicos, productos alimenticios y empaque para alimentos con contacto directo e indirecto. Dichos niveles están influenciados por el incremento de la población y el ingreso per cápita, la seguridad energética y el cambio climático, el impacto sobre suelos y agua, la volatilidad de precios de la energía, las materias primas y alimentos, las tecnologías competentes y de soporte, el riesgo de inversión y la aceptación del consumidor.

Jaffé-Carbonell e Infante (1996) mencionan aspectos importantes en el desarrollo de la biotecnología en la región: plantas transgénicas resistentes a insectos, construcción de mapas genéticos, resistencia a enfermedades, sistemas para la producción de híbridos, plantas resistentes a estrés abiótico.

De acuerdo con el Grupo de Desarrollo Regional del Tecnológico de Monterrey, los temas de investigación con mayor impacto en la biotecnología agrícola a nivel mundial son la bionanotecnología, nutrigenómica, farmacogenética, medicina genómica, bioenergética, proteómica, biorremediación con microorganismos y la optimización de bioprocesos y bioingeniería (Universidad Nacional Autónoma de México, 2008).

En cuanto a las áreas de investigación, para esta megatendencia sobresale la manipulación genética, en la cual son importantes las investigaciones relacionadas con procesos de ampliación de ADN y análisis de germoplasma, semillas mejoradas genéticamente para conferir resistencia a herbicidas, plagas y patógenos, y con tolerancia a toxicidad en suelo (aluminio); también es relevante el trabajo con microorganismos, donde la identificación de nuevos usos, la caracterización bioquímica e identificación de nucleopoliedrovirus son líneas de trabajo clave. De igual forma, la modificación de las propiedades de alimentos ocupa un lugar importante, pues aborda campos como el de agentes bioactivos, bacterias para fermentación láctea, supresión o sobreexposición de carbohidratos y de enzimas metabólicas, desnaturalización de enzimas y fortificación y liofilización, así como prebióticos y probióticos, alimentos con contenido nutricional mejorado, medicamentos herbales y forrajes mejorados.

Respecto a las tecnologías emergentes, estas han tenido un papel sobresaliente en los sectores alimentario, cosmético e industrial; entre dichas tecnologías cabe mencionar ADN recombinante, genética y marcadores moleculares, hibridación introgresiva y mejora en plantas recolectoras de minerales (*Phytomining*). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2011b) presenta cuatro enfoques de biotecnología del sector agrícola, que se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Enfoques de biotecnología agrícola

Enfoque	Tendencias
Cultivos biotecnológicos	Creación de nuevas variedades genéticas, escaneo y selección de variantes favorables y producción y manejo de sistemas (propagación, nutrición, protección, manejo genético y conservación). Muta génesis, tecnologías para manejo de tejidos vegetales, modificación genética, hibridación interespecífica, marcadores moleculares. Estrés biótico, estrés abiótico, rendimiento, calidad nutricional, sostenibilidad.
Sector forestal	Micropropagación, biofertilizantes, marcadores moleculares, huella genética, secuenciamiento genómico, bioinformática, filogenia.
Sector pecuario	Genética y cruzamiento, inseminación artificial, crío conservación, monitoreo de hormonas, marcadores de ADN, producción de alimentos para animales con contenidos nutricionales específicos, transferencia de embriones y genes, selección de sexo, clonación, fertilización in vitro, tecnología de recombinación de ADN, probióticos en alimentación, vacunas recombinantes, epidemiología específica.
Sector acuícola y pesquero	Bioseguridad y control de enfermedades, manejo ambiental y biorremediación, biodiversidad, conservación y manejo de sistemas pesqueros y mejoramiento genético y control reproductivo. Poliploides, glicogénesis, androgénesis, tiempo de reproducción, poblaciones monosexuadas, criogenia, genómica, modificación genética, patógenos, vacunas.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de FAO (2011b)

Las principales perspectivas tecnológicas de actuación de la biotecnología para el sector agropecuario son, en síntesis, las siguientes:

- Productos farmacéuticos: con la emergencia de la genómica, y en particular de la farmacogenómica, la posibilidad de crear fármacos “individuales” es viable.
- Agricultura: cultivos transgénicos, reducción de costes, alto valor de las semillas, percepción del consumidor. El uso de las variedades transgénicas mejoró de manera general el control de las malas hierbas, pero tuvo una influencia variable en el medioambiente, dependiendo del cultivo considerado. La difusión actual de los cultivos transgénicos y los resultados obtenidos en varios estudios acerca de los beneficios y riesgos asociados a su uso proporcionan evidencias opuestas de una extrema polarización entre los usuarios y no usuarios.
- Alimentos: producción de nuevos ingredientes, plantas de procesado modificadas para reducir la carga medioambiental, para mejorar la eficiencia y calidad, y la producción de nuevas herramientas diagnósticas y analíticas.
- Biotecnología industrial: materias primas y biomasa, azúcares, termoquímica, biocombustibles y biorrefinerías.

Contexto nacional

De manera similar al contexto internacional, se identifican los principales referentes y tópicos de investigación para biotecnología (tabla 9) y biodiversidad (tabla 10).

Tabla 9. Perfil de la investigación nacional en biodiversidad

Criterio	Datos
Número de publicaciones.	Total, megatendencia: 3.047 Área de Agricultura y Ciencias Agropecuarias: 2.686
Organizaciones líderes en la megatendencia de agricultura y ciencias biológicas.	• Universidad Nacional de Colombia • Centro Internacional de Agricultura Tropical • Universidad de Antioquia • Universidad de los Andes. • Universidad del Valle. • Pontificia Universidad Javeriana.

(Continúa)

Criterio	Datos	
Países y organizaciones aliadas en investigación.	• Estados Unidos. • Brasil. • Francia. • Reino Unido. • México. • España.	• Smithsonian Tropical Research Institute. • Universidad Nacional Autónoma de México. • Cornell University. • Universidade de São Paulo • Wageningen University and Research Centre. • University of Florida. • Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andreis.
Tópicos tendenciales.	• Biósferas en zonas clave del territorio nacional. • Centros de diversidad de cultivos, orígenes de diversidad, cultivos modificados genéticamente. • Implicaciones en la conservación de recursos genéticos de plantas. • Integración de agricultura urbana y periurbana a la biodiversidad. • Fauna silvestre asociada a sistemas de silvopastoreo. • Conservación de la biodiversidad, gestión de recursos naturales y nutrición humana. • Mapeo de recursos genéticos. • Biota del suelo, servicios de ecosistemas y productividad en el uso del suelo.	
Tópicos de base.	• Enfermedades emergentes de las plantas: polución de patógenos, cambio climático y directrices de agroecología; marcadores moleculares y satelitales para el mapeo de variedades. • Biodiversidad marina. • Beneficios de la diversidad genética en agroecosistemas. • Estudios de la fauna entomológica.	

(Continúa)

(Continuación tabla 9)

Criterio	Datos
Tópicos emergentes.	• Estudios de insectos y dinámicas de migración en sistemas tropicales. • Uso de micromarcadores moleculares para el seguimiento a especies. • Estudios de factores de estrés biótico y abiótico en las dinámicas de insectos en ecosistemas agrícolas y forestales. • Estudios genéticos, orígenes y diversificación de especies acuícolas de interés comercial. • Estudios genómicos en plagas características en diferentes ecosistemas. • Caracterización genética de razas criollas de porcinos con marcadores moleculares. • Caracterizaciones genéticas de especies agrícolas y pecuarias de interés. • Evaluaciones poblacionales y estados de amenaza de especies clave.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Scopus (s. f.)

Tabla 10. Perfil de la investigación nacional en biotecnología

Criterio	Datos
Número de publicaciones.	Total megatendencia: 7351. Área de agricultura y ciencias agropecuarias: 2464.
Organizaciones líderes en la megatendencia acotada a agricultura y ciencias biológicas.	• Universidad Nacional de Colombia. • Centro Internacional de Agricultura Tropical. • Universidad de Antioquia. • Universidad de los Andes. • Pontificia Universidad Javeriana. • Universidad del Valle. • AGROSAVIA (antes Corpoica).

(Continúa)

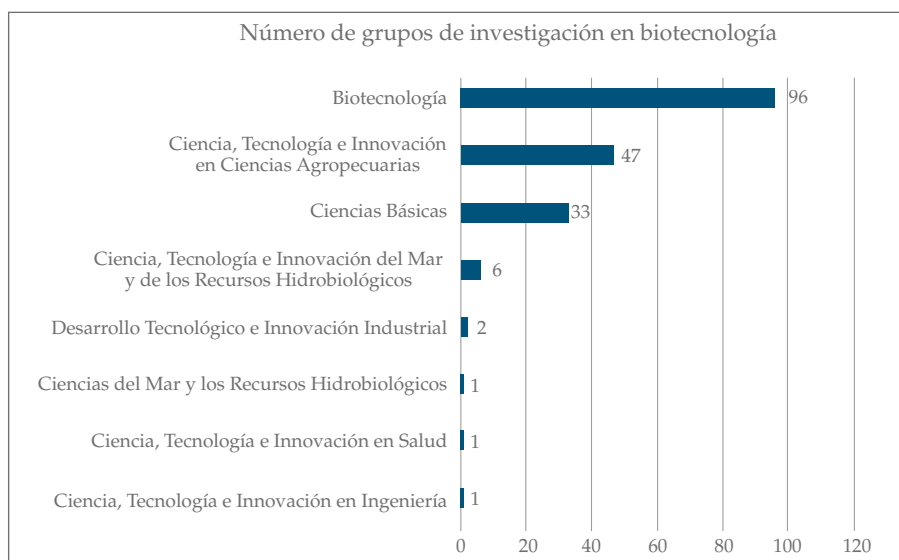
(Continuación tabla 10)

Criterio	Datos	
Países y organizaciones aliadas en investigación.	• Estados Unidos. • Francia. • Brasil. • España. • Reino Unido.	• Cornell University. • Centre de Recherche de Montpellier. • Smithsonian Tropical Research Institute. • Wageningen University and Research Centre. • Universidade Estadual Paulista. • University of Florida. • Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria.
Tópicos tendenciales.	• Diversidad de las cepas colombianas de <i>Bacillus thuringiensis</i> (Bt) con actividad insecticida contra insectos lepidópteros y dípteros. • Registro y regulación de los agentes de control biológico en los productos alimenticios. • Formulaciones para alargar la vida útil de biocontroladores de <i>Trichoderma</i>. • Cultivos de alimentos de primera necesidad mejorados a nivel nutricional. • Caracterización de prototipos de bioplaguicidas granulados y una base de <i>Metarhizium anisopliae</i>. • Integración de la genómica con la cría tradicional hacia la mejora de la adaptación al estrés abiótico. • Modelos de simulación en el mejoramiento de plantas. • Biosensores: aplicaciones y perspectivas en el control y la calidad de procesos y productos alimenticios.	
Tópicos de base.	• Aceites esenciales: sus propiedades antibacterianas y aplicaciones potenciales en los alimentos. • Características de tecnologías prometedoras para el pretratamiento de la biomasa lignocelulósica. • Consecuencias genéticas en las oscilaciones climáticas. • Resistencia sistemática adquirida	
Tópicos emergentes.	• Afectación de las funciones de aguas y suelos por la aplicación de biochar.	

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Scopus (s. f.)

Capacidades nacionales en biotecnología y biodiversidad

De los 1.132 grupos de investigación registrados en la plataforma Scienti de Colciencias (Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación [Colciencias], s. f.c),⁵ se identifican 857 afines al sector agropecuario y agroindustrial. En la figura 5 se presenta la distribución de estos grupos de investigación en los programas nacionales de ciencia, tecnología e innovación formalizados por Colciencias y las principales entidades de investigación; además, se muestra el total de investigadores en las megatendencias de biotecnología y biodiversidad. Se cuenta con 187 grupos de investigación afines a la megatendencia de biotecnología y 216 grupos de investigación relacionados con las megatendencia de biodiversidad. Las principales organizaciones con mayor número de grupos de investigación relacionados con biotecnología son la Universidad Nacional de Colombia (40), la Universidad de Antioquia (16) y la Universidad del Cauca (9). En cuanto a biodiversidad, están la Universidad Nacional de Colombia (46), la Universidad de Antioquia (7) y la Universidad del Tolima (6).



⁵ Convocatoria Nacional para el Reconocimiento y Medición de Grupos de Investigación, Desarrollo Tecnológico o de Innovación y para el Reconocimiento de Investigadores del SNCCTel, 2015.

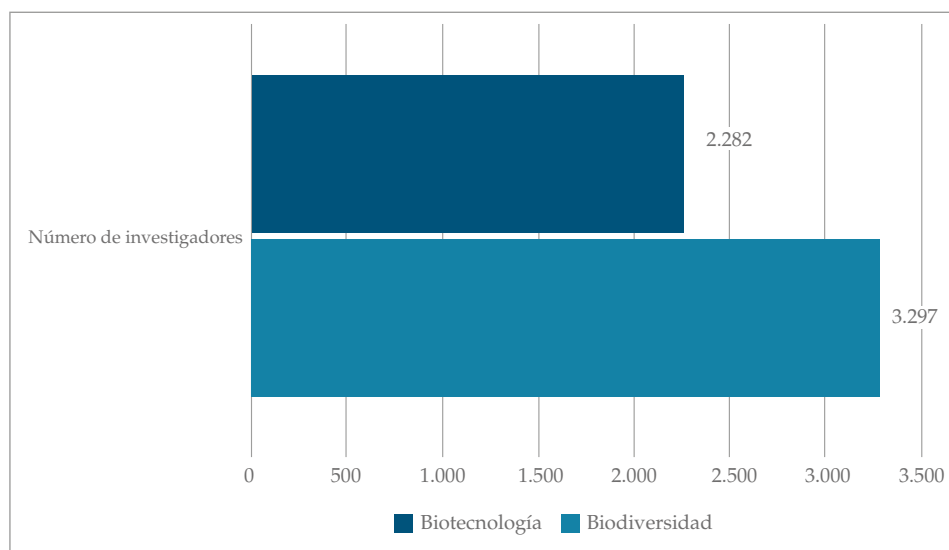
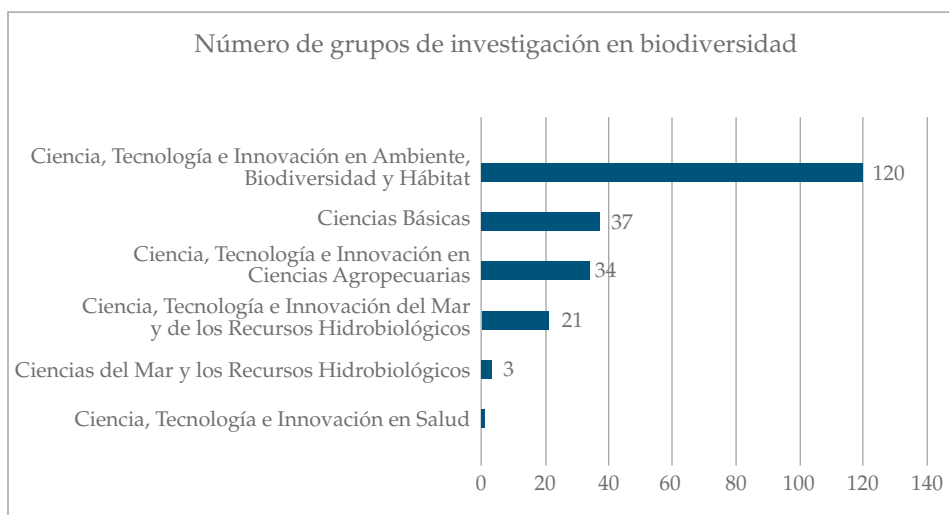


Figura 5. Capacidades nacionales en las megatendencias de biotecnología y biodiversidad.
Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Colciencias (s. f.a)

Actores nacionales en la megatendencia

Se identificaron a través de fuentes de información secundaria 284 actores relacionados con biotecnología y biodiversidad, que fueron caracterizados y evaluados a partir de los criterios tipo de organización y tipo de rol.

En cuanto a tipo de organización, de 284 actores identificados, 83 pertenecen a universidades (29%), y muchas de estas tienen grupos de investigación que registran un total de 76. También se identificaron 37 empresas relacionadas con biotecnología y productos biológicos, 12 centros de investigación y desarrollo, 43 entidades públicas del orden nacional, en las cuales también están incluidas las secretarías técnicas de cadena y 33 entidades públicas territoriales que pertenecen, en su mayoría, a corporaciones autónomas regionales (figura 6).

Teniendo en cuenta cada rol, se identificaron 188 actores que generan conocimiento, productos y soluciones biotecnológicas o relacionados con biodiversidad, de los cuales hacen parte empresas privadas, universidades y grupos de investigación, a través de desarrollos provenientes de investigación básica. Respecto a los actores que demandan tales productos o conocimiento se identificaron 1.128 actores, entre los cuales hay 1.079 organizaciones de asistencia técnica directa rural, 37 cadenas productivas y 12 centros nacionales de investigación (CENI). Respecto a los actores que formulan y dirigen acciones de política pública, se encontraron 39 actores, y entre estos también se cuentan 34 consejos de cadena, los Ministerios de Agricultura y de Medio ambiente, el DNP, Colciencias y el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Respecto a los actores que se encargan de transferir conocimiento, productos y soluciones biotecnológicas, se reconocieron 1174 actores, entre los que se cuentan universidades, organizaciones de asistencia técnica y CENI.

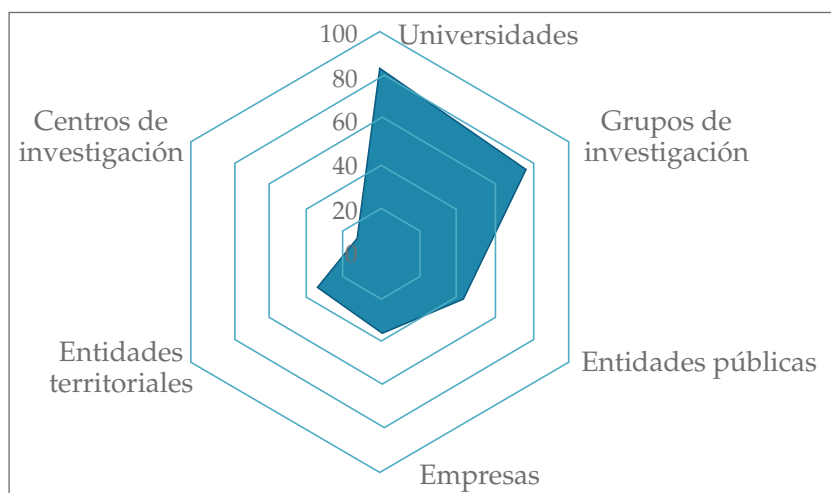


Figura 6. Actores por tipo de organización.
Fuente: Elaboración propia

Construcción de directrices estratégicas

Teniendo en cuenta que la implementación de la metodología del capítulo II se realiza en una megatendencia, se siguió la ruta 2 (figura 2) para el diseño de futuros. Se identificaron, a partir de los resultados de las fases previas, 56 limitaciones y 23 oportunidades, que sirvieron como insumo para la construcción de 37 lineamientos estratégicos de base, clasificados en los siguientes ejes temáticos:

- Capacidades (recursos humanos e infraestructura): siete lineamientos.
- Ciencia, tecnología e innovación: nueve lineamientos.
- Financiación: siete lineamientos.
- Gobernanza y marco regulatorio: siete lineamientos.
- Gestión de conocimiento⁶ y asistencia técnica: siete lineamientos.

A manera de ejemplo, se muestra cómo a partir de las oportunidades (O) y limitaciones (L) se construyeron las estrategias:

O: iniciativas frecuentes para aprovechar los recursos de la biodiversidad, que atienden una parte de consumidores que prefieren los productos naturales que no destruyen el medio ambiente, pues estos son ecológicamente limpios e incorporan principios y criterios de equidad social.

L: las diversas aplicaciones de la biotecnología agrícola no han sido ampliamente utilizadas en muchos países en desarrollo, y no se han beneficiado lo suficiente pequeños agricultores, productores y consumidores.

Lineamiento estratégico de base: desarrollar investigaciones en bioprospección a nivel de cadena productiva, con enfoque territorial para especies priorizadas a través de clústeres tecnológicos de alianzas universidad-empresa-Estado.

Una vez identificados los lineamientos base, fueron sometidos a análisis y revisión por parte de actores clave, en mesas de trabajo relacionadas con los cinco ejes temáticos, según su experiencia y percepción. Esto se realizó en un taller para definir estrategias que permitirán fortalecer el plan estratégico del sector en el corto, mediano y largo plazo.

Se definieron en total 31 directrices estratégicas (ver anexo 1) en biotecnología-biodiversidad, 7 en gobernanza, 9 en I+D+i, 5 en gestión de conocimiento y asistencia técnica, 5 en capacidades en recursos humanos e infraestructura, y 5 en gestión de mercados y financiación. 19 de las estrategias apuntan al

⁶ Abarca la transferencia de tecnología.

objetivo de fortalecer el capital social; 26, a incrementar la productividad y competitividad; 35, al aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, y 20, a mejorar la seguridad alimentaria. A manera de ejemplo, algunas de las estrategias definidas fueron:

En gobernanza

Creación de la Red Nacional e Internacional de Investigación en Agrobioprospección (REDIAB), con el fin de compartir información, metodologías, infraestructura y demás recursos indispensables para el desarrollo de investigaciones biotecnológicas interinstitucionales teniendo como base principios y políticas de reciprocidad, libertad, convicción, confianza y respeto por la propiedad intelectual de sus miembros.

En gestión de conocimiento y asistencia técnica

Promover y fortalecer procesos de transferencia de tecnología a partir de lo que implica el desarrollo de la biotecnología para su efectiva aplicación en el mercado, considerando diferentes campos del conocimiento, propiedad intelectual (protección, valoración y negociación de la tecnología), esquemas de vigilancia de la frontera tecnológica, articulación de actores y mecanismos de gestión de la innovación.

En financiación

Fortalecer el marco regulatorio bajo una orientación de incentivos que promuevan el mercado de productos biotecnológicos para el sector agropecuario.

En capacidades

Conformación de una red nacional de laboratorios que permita conocer la oferta de servicio de las instituciones de investigación en biotecnología del país, con el fin de facilitar las actividades de investigación.

En CTi

Fortalecimiento de la investigación en el desarrollo de bioinsumos con énfasis en pequeños productores, por medio de herramientas moleculares y biotecnológicas de última generación.

Estas estrategias se convierten en insumo para la formulación de la política pública sectorial en CTi para el sector agropecuario, específicamente para la formulación del Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del sector Agropecuario Colombiano (Pectia).

Perspectivas de futuro

Una vez consolidadas y formuladas las estrategias, los actores definieron perspectivas de futuro a 2026 para las megatendencias biotecnología y biodiversidad en el sector agroindustrial, desde perspectivas de I+D+i:

- La biotecnología, como herramienta clave para la productividad y competitividad del sector agroindustrial (agrícola, pecuario, forestal, acuícola, pequero y agroindustria), tendrá como eje director la integración con la ventaja comparativa y competitiva de la biodiversidad.
- Las empresas de base biotecnológica, las universidades, los centros de excelencia y los centros de investigación sectoriales orientarán sus investigaciones a procesos de bioprospección robustos, encaminados a aprovechar la biodiversidad bajo un enfoque de uso sostenible de especies promisorias y otros recursos genéticos.
- La investigación básica, aplicada y adaptativa se hará de manera sostenible y direccionada a través de líneas de investigación claras en poscosecha, transformación, calidad e inocuidad de insumos y productos; teniendo como base especies priorizadas y sectores clave como biocombustibles de segunda y tercera generación.
- La biotecnología y biodiversidad serán direccionadas para la producción social de conocimiento articulado con los beneficiarios, a través de innovaciones en el campo para un mejor uso de los recursos naturales, incorporación del conocimiento tradicional desde los servicios de extensión y asistencia técnica.
- Los mecanismos de articulación público-privada para el fortalecimiento de la capacidad investigativa en el uso y el aprovechamiento sostenible de la biodiversidad, mediante la biotecnología, lograrán niveles de excelencia en la formación de doctores y magísteres, a través de programas específicos focalizados en las áreas de interés para el país.

- En 2026, Colombia tendrá una conexión y posición clara en el juego global de la biotecnología, con un marco regulatorio de incentivos a la promoción de mercados biotecnológicos, instrumentos robustos para el fomento, financiación e inversión; soportada en características diferenciadoras como país.

Conclusiones

La biotecnología y la biodiversidad como megatendencias en investigación son un objeto de estudio conjunto, toda vez que la biotecnología es el medio a través del cual se deben aprovechar de manera sostenible los recursos a nivel genético, poblacional, ecosistémico y de comunidad. Existe un marco normativo y legal robusto que permite orientar las actividades de CTi en este campo, así como un potencial de recursos disponible y capacidades en recurso humano que, si bien están sujetas a incrementarse y percibir recursos de inversión para formación de alto nivel, son una base de partida para generar mayor impacto en el sector agropecuario.

Por otra parte, las tendencias mundiales en I+D+i deben coincidir en respuestas a interrogantes clave como:

- ¿Cuál es la relación entre productividad y biodiversidad (servicios ecosistémicos) y cómo varía entre sistemas agrícolas en función del escalamiento espacial del territorio disponible para usos agrícolas?
- ¿Cuáles son los efectos de la conservación de la biodiversidad y la entrega de servicios ecosistémicos, si los sistemas de producción agrícola y pecuaria se direccionan por objetivos de productividad y competitividad de costos y volúmenes?
- ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de la producción orgánica en términos de biodiversidad, servicios ecosistémicos, rendimiento y salud humana, específicamente para países en desarrollo?
- ¿Cuáles son las ganancias con la eficiencia del uso de recursos, pueden ser alcanzadas mediante el mejoramiento genético para la resistencia del estrés abiótico y biótico?
- ¿Cuál es la eficiencia de las diferentes alternativas de mejoramiento genético para optimizar la efectividad del uso de nutrientes en los cultivos e incrementar su rendimiento?

- ¿Cómo se puede expandir el rango y desarrollo comercial de plantas alimenticias para promover resiliencia en las cadenas de alimentos, mientras se mantiene la diversidad genética de cultivos y el uso de especies silvestres?
- ¿Cuál es la efectividad comparativa de los diferentes enfoques de mejoramiento genético para el desarrollo de cultivos tolerantes a estrés abiótico como heladas, calor, sequía, añejamiento, acidez y salinidad?
- ¿Cómo puede el incremento de la biodiversidad de cultivos ayudar con el manejo de plagas y enfermedades?
- ¿En qué condiciones ambientales e institucionales se incrementará la agrobiodiversidad en unidades productivas y paisajes ambientales para mejorar las oportunidades de medios de vida e ingresos?



En este capítulo se describen los resultados obtenidos con la metodología expuesta en el capítulo II, para la megatendencia de agroenergías. Para esto, se genera como punto de partida la base conceptual relacionada con el término *agroenergías* en el ámbito mundial, para el posterior análisis de los entornos científico-tecnológico, político-normativo y socioeconómico, como caracterización del contexto de la megatendencia. Posteriormente, se especifican los tópicos clave de investigación en el ámbito internacional y nacional, y las capacidades nacionales para el desarrollo de esfuerzos en ciencia, tecnología e innovación (CTi) en esta megatendencia. Finalmente, a partir de estos insumos, se presentan las directrices clave y perspectivas de futuro, construidas por expertos y actores esenciales de la megatendencia, que se convierten en insumo para la formulación de política pública.

Elementos conceptuales

Las energías alternativas priorizan temáticas de cultivos energéticos, generación de carbón vegetal para biorremediación, biomasa para producción de bioetanol y biodiésel, principalmente; asimismo, asuntos de agroenergéticos, aprovechamiento de residuos para la generación de energía eléctrica a través de tecnologías limpias y cultivos exclusivos para estos productos, que minimizan el impacto de seguridad alimentaria.

En el periodo 2008-2010, casi el 2% de las tierras cultivables del mundo fue utilizado para producir materias primas bioenergéticas, y el 11% de la producción mundial, tanto de cereales secundarios, como de aceites vegetales, fue dedicado a la producción de biocombustibles.

El uso de la agroenergía ofrece oportunidades de aumentar los ingresos y el empleo en las zonas donde se implemente, si se adoptan medidas para la inclusión de los pequeños agricultores en los mercados de productos agroenergéticos, se prioriza el cultivo de especies de doble propósito y se adoptan sistemas alimentario-energéticos integrados.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (s. f.a) define agroenergía como: “Energía derivada de determinados cultivos plantados *ex profeso*, y de subproductos de origen agrícola y ganadero, residuos y desechos”. Un concepto asociado a la agroenergía es el de *bioenergía*, derivada de los biocombustibles, que se obtienen de sistemas de producción agropecuarios.

La FAO (2008a) da una definición más amplia de las “energías alternativas” desde la agricultura o las bioenergías; las expone como todo tipo de energía derivado de los biocombustibles provenientes de materias primas de origen biológico o biomasa. Dichas energías se clasifican por la procedencia de la biomasa usada para su producción y su grado de elaboración. Se reconocen principalmente los combustibles leñosos, los agrocombustibles y los subproductos urbanos; cada uno de estos agrupa combustibles sólidos, líquidos o gaseosos usados principalmente para la generación de calor o electricidad.

Los biocombustibles son las principales fuentes agroenergéticas en el mundo. Un biocombustible es cualquier tipo de combustible líquido, sólido o gaseoso, proveniente de la biomasa (materia orgánica de origen animal o vegetal). El término incluye bioetanol (o alcohol carburante), metanol, biodiésel, diésel fabricado mediante el proceso químico de Fischer-Tropsch y combustibles gaseosos, como metano o hidrógeno (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2006). Se identifican tres fuentes primarias de biocombustibles provenientes de material crudo de cultivos agroindustriales: azúcares simples, almidón y lignocelulosa. Otras fuentes de obtención son desechos municipales y subproductos agrícolas y forestales (Balat & Balat, 2009), que pueden ser sólidos (paja, leña, astillas, briquetas, carbón vegetal), líquidos (alcoholes, biohidrocarburos, aceites vegetales y ésteres derivados, aceites de pirolisis) o gaseosos (gas de gasógeno, biogás, hidrógeno) (Lede, s. f.).

Cabe mencionar que, en esta investigación, para temas relacionados con biocombustibles a partir de cultivos energéticos, es necesario tener en cuenta:

1) composición química de la biomasa; 2) prácticas de cultivo; 3) prácticas de uso de la tierra; 4) uso de recursos; 5) balance de energía; 6) emisión de gases de efecto invernadero; 7) mineralización de aguas y suelos; 8) uso de pesticidas; 9) erosión del suelo; 10) contribución a la biodiversidad, y 11) requerimientos hídricos. En la tabla 11 se sintetizan las principales fuentes de agroenergía, su uso y factores clave.

Tabla 11. Principales fuentes de agroenergía

Fuente	Usos	Factores clave
Combustibles leñosos solidos	Producción de energía domiciliaria.	Conversión energética potencial de la madera: • Fuego abierto: 5 %. • Estufas: 36 %. • Fábricas carbón vegetal: 44-80 %. • Estufas de pellets de madera: 80 %. Investigaciones en bioenergía industrial a través de cogeneración, gasógenos de recuperación de energía y calderas de recuperación de calor. Gasificación.
Biocombustibles	Producción de energía para automotores.	Primera generación: se entiende en general como el etanol producido a partir de cultivos con un alto contenido de azúcar (por ejemplo, remolacha azucarera, caña de azúcar y sorgo dulce) o de almidón (como maíz, trigo y yuca) y el biodiésel de semillas oleaginosas (la soja, girasol, colza o palma) o de grasas animales y de aceites vegetales puros (Fischer et al., 2010; Gasparatos et al., 2012; Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [ocde] & International Energy Agency, 2010). En la mayoría de los casos, estas materias primas también pueden utilizarse como alimentos y piensos.

(Continúa)

Fuente	Usos	Factores clave
Biocombustibles	Producción de energía para automotores.	Segunda generación: los biocombustibles de segunda generación son los elaborados a partir de biomasa no comestible o lignocelulósica, y los productos que se obtienen son etanol lignocelulósico, combustibles BTL y gas natural biosintético (FAO, 2008a). Las materias primas lignocelulósicas comunes son subproductos agrícolas (por ejemplo, rastrojo de maíz, cáscaras, tallos o bagazo de caña), residuos forestales (como los de raleo, copas de árboles y ramas), gramíneas perennes (pasto varilla o aguja y el miscanto), árboles de rotación corta (sauces o álamos) y residuos municipales. Tercera generación: los biocombustibles que no compiten con los cultivos alimentarios ni con las tierras. Normalmente los biocombustibles a base de algas entran dentro de esta categoría, así como otras materias primas modificadas genéticamente. Generación 1.5: uso de tecnologías convencionales con materias primas alternativas no competitivas con la producción de alimentos, como especies arbustivas o perennes oleaginosas.
Biocombustibles avanzados		Desarrollados en biorrefinerías donde se obtiene, además, electricidad, sustancias químicas, plásticos, alimentos y fibras.

Fuente: Elaboración propia a partir de Fischer et al. (2010); FAO (2008a); Gasparatos et al. (2012); OCDE & International Energy Agency (2010)

Las ventajas de las agroenergías como energías alternativas a las fuentes convencionales han direccionado el desarrollo de I+D+i para la consecución de soluciones tecnológicas, que apalanquen sus ventajas ambientales (menor generación de efluentes, emisiones y desechos sólidos, menor impacto en la variabilidad y el cambio climático, potencial de materias primas en el sector agropecuario y oferta tecnológica de base en países referentes como Estados Unidos, Canadá y la Unión Europea).

Elementos clave del contexto de la megatendencia para Colombia

En el entorno político normativo de las agroenergías para la CTi, los lineamientos de política pública en Colombia relacionados con agroenergías regulan la producción de biocombustibles, específicamente biodiésel y bioetanol. El documento Conpes 3510 de 2008 establece los “Lineamientos de política para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia”. Este Conpes toma como base las iniciativas contempladas en los documentos de planes nacionales de desarrollo anteriores a la fecha de su estructuración.

Así, la orientación a agroindustrias para la producción de biocombustibles, el enfoque sustentable desde la inserción de tecnología clave y la articulación de factores ambientales, de seguridad alimentaria y de costos de producción son elementos clave de la política pública en agroenergías. Para el direccionamiento de actividades de CTi, se cuenta con el programa nacional del Departamento Administrativo de Ciencia y Tecnología e Innovación (Colciencias) en:

- Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación en Energía y Minería: “Apoyar la innovación, el desarrollo tecnológico y la generación de conocimiento para el incremento de la productividad y la competitividad en el sector minero y energético, garantizando la sostenibilidad ambiental y en busca de la agregación de valor y del incremento del bienestar social en el sector”. Esto con el fin de “Articular los actores y grupos del sector energía y minería para identificar los incentivos, estímulos y gestionar los recursos y medios necesarios para la generación de conocimiento basado en investigación, desarrollo tecnológico e innovación, y alcanzar los objetivos trazados en este plan” (Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación [Colciencias], s. f.b).

Otras políticas clave son:

- Ley 1715 del 13 de mayo de 2014: por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.
- Resolución 41072 del 1 de octubre de 2015:⁷ por la cual se establece el porcentaje de mezcla de alcohol carburante para la zona suroccidental del país, para uso en vehículos automotores.

En el entorno socioeconómico, se resaltan los indicadores de producción de agroenergías. La producción de etanol en Colombia es de 1.200.000 litros por día en seis refinerías: cinco en el valle del río Cauca, con caña de azúcar y una en el departamento del Meta, con yuca amarga, producción equivalente al 8,5% de las gasolinas que se consumen en el país. En cuanto a la producción de biodiésel, esta se estima en 10.000 barriles diarios en seis refinerías: tres en la costa Caribe, una en Barrancabermeja, una en Cundinamarca y una en el departamento del Meta, producción equivalente al 9 % del diésel consumido, principalmente, en el sistema de transporte pesado de carga y pasajeros, y de quipos industriales. En 2020, la meta propuesta por Fedebiocombustibles es alcanzar mezclas de etanol-gasolina y biodiésel-diésel del 20 %

La regulación de precios para el ingreso a los productores de bioetanol (alcohol carburante) y biodiésel se realiza a través de resoluciones emitidas por el Ministerio de Minas y Energía con una periodicidad mensual. La Resolución 40081 del 29 de enero de 2016 es la última vigente, hasta el 29 de febrero de 2016, cuando el precio del galón de bioetanol fue de \$7.822,43 y de biodiésel \$11.921,38. La Resolución 180103 del 30 de enero de 2012 fijó precios de \$8.712,69 para el galón de bioetanol y \$9.086,38 para biodiésel.

En cuanto a producción y ventas para alcohol carburante, en la figura 7 se presenta la dinámica nacional para el periodo 2010-2015, momento cuando se evidenció una dinámica en aumento, coherente con la normativa de mezclas con combustibles fósiles. Tanto para etanol como para diésel, el comportamiento creciente entre oferta y demanda es equilibrado; sin embargo, la producción nacional no cubre todas las ventas registradas. Para el cierre de 2015, Colombia produjo un poco más de 446 millones de litros de bioetanol y vendió 458 millones de litros; en biodiésel, produjo 513 mil toneladas y las ventas alcanzaron 502 mil toneladas.

⁷ Las resoluciones de porcentajes de mezclas se actualizan periódicamente.

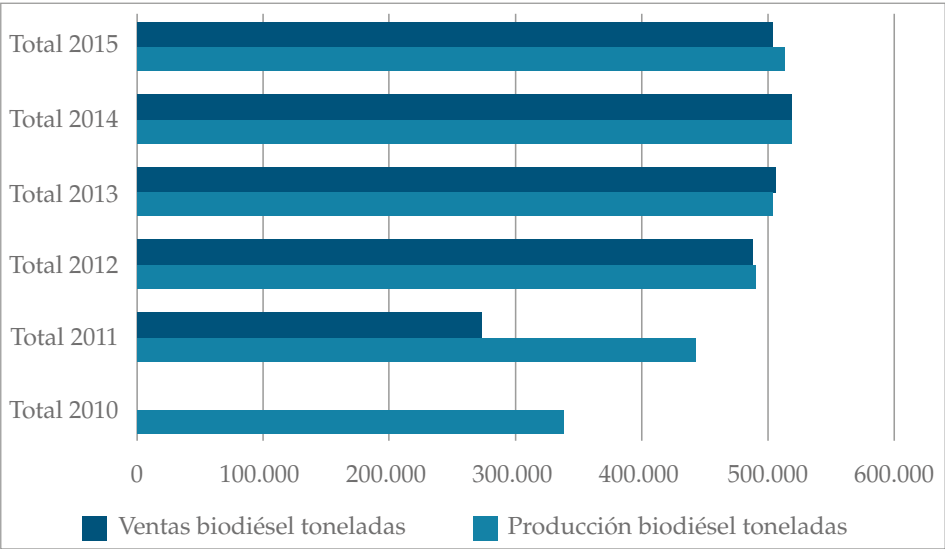
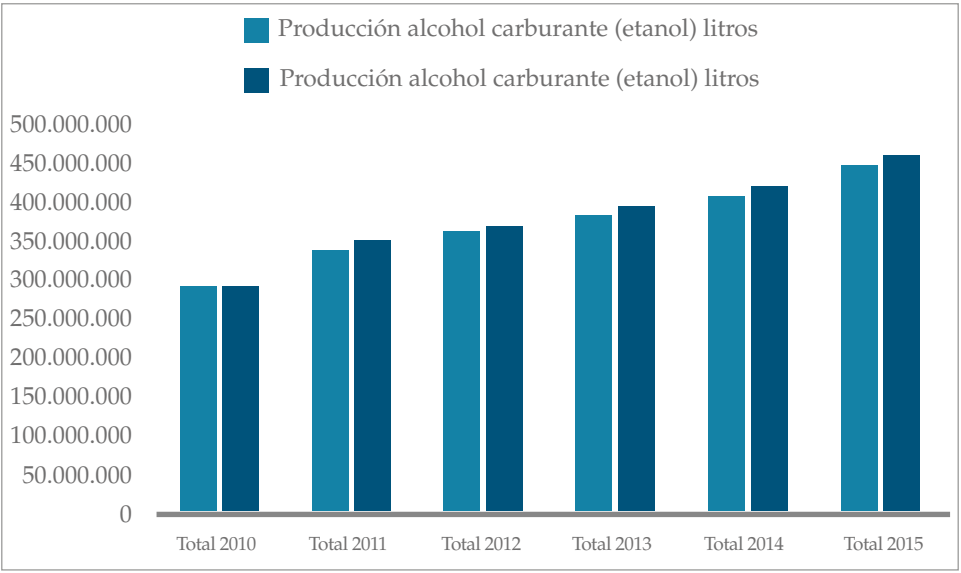


Figura 7. Producción y ventas de etanol carburante y biodiésel en Colombia, 2010-2015.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de la Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia (Fedebiocombustibles) (s. f.)

Los principales cultivos del sector que se han diversificado a la producción de agroenergías a partir de biocombustibles son la palma de aceite (biodiésel) y la caña de azúcar (alcohol carburante-bioetanol). En términos de visibilidad global del uso de fuentes renovables para la producción de energía, el

Banco Mundial registra indicadores de comparación a nivel país; respecto a Colombia, reporta información en cuanto al uso y porcentaje de participación de estas fuentes renovables en la producción nacional. En tabla 12 se consolida esta información.

Tabla 12. Indicadores energías renovables del Banco Mundial para Colombia

Indicador	Valor de referencia	Año
Producción de electricidad de energías renovables (% de la producción total de electricidad).	79,55	2012
Producción de electricidad a partir de fuentes renovables, excluida la hidroeléctrica (kilovatio-hora).	2.008.000.000	2012
Producción de electricidad a partir de fuentes renovables, excluida la hidroeléctrica (% del total).	3,22	2012
Combustibles renovables y residuos (% del total de energía).	11,64	2012

Fuente: Elaboración propia, a partir de información del Banco Mundial (s. f.)

El entorno científico-tecnológico se enmarca en las directrices de Colciencias sobre “Agroenergía: biocombustibles, biomasa y biogás”, en tres momentos:

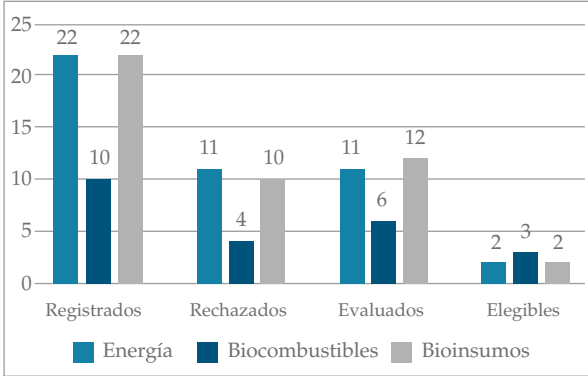
- 2012-2018: producción de etanol celulósico vía bioquímica, y producción de diésel renovable por hidrotratamiento.
- 2019-2024: producción de biobutanol vía bioquímica, de diésel renovable y de biojet, vía bioquímica, y producción de biocombustibles, vía síntesis Fischer-Tropsch.
- 2025-2030: producción de etanol y biodiesel a partir de algas, producción de biocrudos por pirólisis y *upgrading* para producción de biocombustibles avanzados e integración de procesos de producción de biocombustibles y bioquímicos en biorrefinerías.

Las capacidades en el sector de agroenergía se sintetizan en la tabla 13.

Tabla 13. Capacidades en agroenergías

Criterio	Características
Proyectos	De los 1.711 proyectos registrados, 30 son enfocados en biocombustibles. De estos, 2 son de investigación tipo adaptativa; 22, de aplicada; 3, de básica, y 3, de transferencia.
Resultados de investigación	12 resultados de investigación en caña de azúcar: 10 del Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña): 6 en sistemas de georreferenciación, 2 en socioeconomía, 1 en material de siembra y 1 en manejo poscosecha. 3 resultados de investigación en palma de aceite: 1 de Cenipalma, 1 de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA, antes Corpoica) y 1 de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. Cenicaña: 10 resultados. Cenipalma: 1 resultado.
Grupos de investigación	Siembra: 2 grupos: Procesos Químicos Catalíticos y Biotecnológicos, de la Universidad Nacional de Colombia y Estudio y Aprovechamiento de especies vegetales para biodiésel, de AGROSAVIA. Scienti: 49 grupos (ver anexo 1).
Artículos indexados en Scopus con afiliación de Colombia	64.321 a febrero de 2016, 10.338 en agricultura y ciencias biológicas, 2.614 en ingeniería química y 2.100 en energía.
Artículos indexados en Scopus con afiliación de país Colombia en bioetanol, biocombustibles, biodiésel, Agroenergías y bioenergías en el área de agricultura y ciencias biológicas	469
Artículos indexados en Scopus con afiliación de país Colombia en bioetanol, biocombustibles, biodiésel, Agroenergías y bioenergías	1.111

(Continúa)

Criterio	Características																				
Convocatorias para ejecución de proyectos	Convocatoria 490-2010: énfasis en I+D+i en biocombustibles. Convocatoria 524-2011: producción de biocombustibles en la Guajira). Convocatoria 620-2013: para apoyo a proyectos de biocombustibles avanzados. Convocatoria 700-2014: para proyectos regionales de investigación aplicada al desarrollo de pruebas de concepto relacionadas con nuevas tecnologías biológicas, biomédicas o asociadas al uso sustentable de energía – 2014. Convocatoria 701-2014: para el apoyo al desarrollo y a la validación precomercial y comercial de prototipos funcionales de tecnologías biológicas, biomédicas y energéticas, con alto potencial de crecimiento empresarial – 2014.																				
Balance global Convocatoria 620	 <table><thead><tr><th>Etapa</th><th>Energía</th><th>Biocombustibles</th><th>Bioinsumos</th></tr></thead><tbody><tr><td>Registrados</td><td>22</td><td>10</td><td>22</td></tr><tr><td>Rechazados</td><td>11</td><td>4</td><td>10</td></tr><tr><td>Evaluados</td><td>11</td><td>6</td><td>12</td></tr><tr><td>Elegibles</td><td>2</td><td>3</td><td>2</td></tr></tbody></table>	Etapa	Energía	Biocombustibles	Bioinsumos	Registrados	22	10	22	Rechazados	11	4	10	Evaluados	11	6	12	Elegibles	2	3	2
Etapa	Energía	Biocombustibles	Bioinsumos																		
Registrados	22	10	22																		
Rechazados	11	4	10																		
Evaluados	11	6	12																		
Elegibles	2	3	2																		

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Colciencias (s. f.a); Scopus (s. f.); Siembra (s. f.)

Las dos principales entidades de investigación en biocombustibles afines a las cadenas productivas de caña de azúcar y palma de aceite, Cenicaña y Cenipalma, actualmente desarrollan los siguientes proyectos:

- Cenicaña: Sistema de Recomendación de Variedades (SRV) es una herramienta para la verificación del Grupo de Humedad; Balance hídrico priorizado; Curvas de isoproductividad; Sistema experto de fertilización para caña de azúcar (SEF); Proyección de la productividad para la agroindustria de la caña de azúcar del valle del río Cauca y Procesos fisicoquímicos para la producción de bioetanol.
- Cenipalma: 1) biología: Determinación de mecanismos de adaptación del cultivo; Desarrollo de herramientas moleculares para el apoyo del mejoramiento genético, enfocado en resistencia a plagas y enfermedades, índices de productividad y tolerancia a factores de estrés biótico y abiótico; 2) agronomía: Tecnologías para el manejo de suelos y aguas en la producción de aceite de palma; Mecanización agrícola; Herramientas geomáticas para el manejo del sistema productivo de la palma de aceite bajo el enfoque de agricultura de precisión; 3) Sanidad, investigación en enfermedades de la palma de aceite e investigación en plagas de la palma de aceite; 4) Procesamiento, biorefinerías; 5) Validación, Economía agrícola y biometría: Validación de resultados de investigación en la agroindustria de la palma de aceite; Transferencia de tecnología en la agroindustria de la palma de aceite.
- AGROSAVIA: ha desarrollado trabajos en cultivos con potencial energético como *Jatropha curcas* y sorgos dulces: 1) Cuatro variedades de sorgo dulce para ensilajes incrementadas y ocho parcelas semicomerciales de sorgo dulce sembradas en fincas de productores en las subregiones de Caribe seco, Caribe húmedo, valles interandinos y la región de Orinoquia; 2) Evaluación integral de materiales forrajeros (gramíneas, leguminosas y cultivos). Producción de semilla de *Panicum máximum* CIAT 6799, liberación de sorgo dulce y evaluación de materiales de maíz forrajero; 3) Evaluación integral de materiales forrajeros (gramíneas, leguminosas y cultivos). Producción de semilla de *Panicum máximum* CIAT 6799, liberación de sorgo dulce, y 4) Materiales forrajeros avanzados en su selección por adaptación, producción de biomasa persistencia y producción de semillas, e inhibición biológica del nitrógeno. Semilla básica disponible de los materiales avanzados. Un material de sorgo forrajero y una gramínea forrajera de pastoreo liberadas a los productores. Adicionalmente, el estudio

titulado *La agroenergía en la región andina: situación actual y perspectivas* (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica], Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], & Programa Cooperativo de Innovación Tecnológica Agropecuaria para la Región Andina [Prociandino], 2010) menciona cultivos promisorios para bioetanol (sorgo dulce, remolacha, yuca, arroz, caña brava) y para biodiésel (higuerilla, *Jatropha curcas*, soya, colza-canola, girasol); también se definen los aspectos de manejo agronómico del cultivo de sorgo dulce para la producción de bioetanol (Bernal Riobo & Hernández, 2011).

- Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Biotecnología: investigaciones en biocombustibles de tercera generación a través de algas y estudios para el aprovechamiento del glicerol como subproducto de la obtención de biodiésel de palma de aceite.

Orientaciones en los contextos nacional e internacional

Las directrices de base para el desarrollo de iniciativas de I+D+i se identifican a través del análisis de documentos sectoriales, institucionales y de política pública específicos o afines a la megatendencia. El objetivo de este análisis es establecer el marco de referencia sobre el cual deben ser formulados los proyectos de CTi.

Orientaciones en el contexto nacional

En materia de CTi, Colciencias establece para el tema de agroenergías cuatro ejes de trabajo y sus respectivas líneas de acción, que son: materias primas, procesos de transformación y transversales (tabla 14).

Tabla 14. Líneas de trabajo en agroenergías para financiación de proyectos de CTi

Eje	Líneas de trabajo
Materias primas	• Identificación/selección de fuentes de biomasa: residuos de cosechas, cultivos energéticos y residuos municipales; cuantificación y análisis geoespacial de los volúmenes disponibles, potencial energético y costos asociados. • Caracterización química para aplicar rutas de transformación bioquímica o termoquímica. • Logística para el mejor manejo de la materia prima en las etapas de recolección, almacenamiento y distribución hacia los centros de transformación. • Identificación/selección de fuentes de biomasa no tradicionales, centradas en las opciones de residuos municipales y pecuarios. Definición de los mecanismos de recolección y la adecuación de estas fuentes de biomasa no tradicionales a los procesos de transformación ya establecidos. • Identificación/selección de algas, microalgas y cianobacterias como posibles fuentes de biocombustibles.
Procesos de transformación	• Pretratamiento de biomasa: estudios de pretratamientos físico-mecánicos, químicos y biológicos. • Hidrólisis enzimática para la obtención de azúcares a partir de celulosa y hemicelulosa. Adaptación tecnológica y obtención de enzimas a partir de organismos nativos. • Gasificación: evaluar la producción de combustibles líquidos por vía bioquímica o Fischer-Tropsch. • Pirolisis y licuefacción de biomasa: realizar estudios a nivel laboratorio y planta piloto para la obtención de biocrudos y bioaceites, posible materia prima de productos más refinados. • Procesos termoquímicos para obtener, entre otros, etanol, butanol, diésel BTL, gasolina BTL, bioaceites y biocrudos. • Transesterificación: aplicar este método tradicional de obtención de biodiésel a nuevas fuentes de aceites vegetales no comestibles. • Hidrotratamiento: evaluar la obtención de diésel renovable a partir de nuevas fuentes de aceites. • Hidrogenación en coprocesamiento con combustibles fósiles para aumentar la eficiencia en los procesos de refinación de petróleo.

(Continúa)

Eje	Líneas de trabajo
Procesos de transformación	• Evaluar los procesos de licuefacción, pirolisis y gasificación aplicados a biomásas provenientes de algas, considerando los costos energéticos. • Analizar los métodos de extracción líquido-líquido y de fluidos supercríticos de aceites de algas. • Estandarizar procesos de transesterificación para la obtención de biodiésel, considerando aspectos relacionados con los catalizadores, la neutralización de los productos de reacción, la separación de la glicerina y la recuperación del metanol que no reaccionó.
Transversales.	• Ingredientes activos aislados a partir de la biodiversidad colombiana, biocosméticos, cosmeceúticos y nutricosméticos. • Tecnologías biomédicas para diagnóstico, prevención y tratamiento de enfermedades humanas y animales. • Bioproductos y bioprocesos para usos industriales y producción de energía. • Biotecnologías para el desarrollo agropecuario sostenible. • Biotecnologías para el desarrollo y la producción de alimentos (incluye nutraceuticos). • Tecnologías para biomonitorio y biorremediación ambiental. • Tecnologías que incrementan la eficiencia energética o el uso sostenible de fuentes no convencionales de energía (FNCE).

Fuente: Elaboración propia, a partir de información suministrada por el *Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación en Energía y Minería* de Colciencias (s. f.b)

El documento Conpes 3510 de 2008 se orienta hacia la megatendencia agroenergías en cuanto a medidas que promueven su uso y desarrollo, a través de la normatividad para el uso de mezclas con combustibles fósiles e incentivos tributarios para producción; mecanismos de financiación para el desarrollo de cultivos que generen biomasa para la producción de bioetanol y biodiésel, y la regulación de precios de los biocombustibles; al mismo tiempo, considera un esquema regulatorio que integre los costos de oportunidad de sus productos.

El estudio de evaluación ambiental del sector de biocombustibles desarrollado por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH) (MAVDT & IAvH, 2008) estableció aspectos clave para el fortalecimiento y la dirección requerida para este:

- Focalización en los cultivos de palma de aceite, caña de azúcar, caña panelera y yuca.
- Criterios de análisis de estos sistemas productivos frente a: disponibilidad de agua, presencia de ecosistemas naturales, áreas protegidas y objeto de conservación de especies, núcleos de agrobiodiversidad, producción familiar o campesina, expansión real de áreas cultivadas, metas de expansión, importancia agrícola departamental, plantas de producción existentes o proyectadas, presencia de uno o varios cultivos, presencia de comunidades étnicas, infraestructura vial/portuaria, conflicto armado, conflictos socioambientales y aptitud para biocombustibles.
- Énfasis en la expansión de la frontera agropecuaria, cambios en las estructuras productivas, reorientación productiva sostenible, incidencia frente a soberanía y seguridad alimentaria, planes de ordenamiento territorial, uso de especies invasoras con potencial como materia prima, sustitución de cultivos, calidad ambiental, desarrollo rural con enfoque sistémico, etc.
- Focalizar el accionar institucional y organizacional a lo largo del modelo de cadena de valor, y así identificar entidades que coordinen y focalicen esfuerzos en abastecimiento de materias primas, proceso industrial, comercialización, consumo e I+D+i.

Finalmente, la política nacional de CTi (documento en construcción) (Ministerio de Minas y Energía, s. f.) postula, respecto a los biocombustibles, lo siguiente:

- Focalizar la I+D hacia la consolidación de un portafolio diverso de alternativas energéticas.
- Innovaciones en prácticas de manejo del sistema productivo.
- Desarrollo de nuevas variedades de cultivos a partir de la biotecnología.
- Procesos que incrementen la conversión y eficiencia.
- Aplicación de biología sintética y otras técnicas de manipulación genética.
- Diseño de biorrefinerías basadas en catalizadores microbianos.

Una de las principales preocupaciones frente al desarrollo tecnológico de agroenergías, en especial de los biocombustibles en Colombia, es su relación con la seguridad alimentaria, principalmente la disponibilidad de alimentos y su precio.

En particular, para Colombia es necesario poder adoptar políticas conjuntas que permitan la promoción de los biocombustibles, el acceso a los alimentos y el correcto uso de los recursos disponibles. Paralelamente, es necesario en función del correcto uso y vocación del suelo, definir los cultivos energéticos más adecuados (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2010).

Orientaciones en el contexto internacional

En el entorno mundial, el enfoque macroeconómico está priorizando el diseño de economías basadas en materias primas renovables para la obtención de energía y productos de manera sustentable. Así, la incorporación tecnológica debe optimizar las fuentes actuales de producción de biocombustibles y dar prelación a las materias primas que no compiten frente a seguridad alimentaria, y de esta manera aumentar su disponibilidad y disminuir sus costos de producción.

La concepción de una agroindustria de combustibles soportada por una infraestructura tecnológica (estructura, tecnología en equipos, recurso humano especializada y una cultura enfocada en sostenibilidad) de biorrefinerías, integra completamente la producción y conversión de biomasa, para producir combustibles, energía y productos químicos. Las biorrefinerías utilizan todos los componentes de la biomasa para la producción de alimentos, combustibles, productos químicos, materiales, energía y calor, lo cual maximiza el desarrollo económico sostenible (Ragauskas et al., 2006).

Acorde con la FAO, desde el Grupo de Alto Nivel de Expertos sobre Seguridad Alimentaria y Nutrición (High Level Panel of Experts [HLPE], 2013b), el crecimiento en la demanda y producción de biocombustibles obedece a las orientaciones de política pública para su promoción y regulación. Estas se soportan en las decisiones de los actores encargados del proceso productivo (desde las unidades productivas y las de transformación, y la cadena de suministros), de la demanda de los consumidores y de la manera como inciden las políticas de promoción e incentivo al uso, de la regulación ambiental y las regulaciones específicas en los sectores agrícola, energético y ambiental (Pelkmans, Govaerts, & Kessels, 2008). La promoción de esta megatendencia desde la I+D+i propone una orientación hacia:

- Mejora respecto a la eficiencia de las tecnologías de producción de biocombustibles.
- Transferencia y adaptación tecnológica a las condiciones propias de cada contexto.
- Análisis del potencial de contribución de las fuentes de obtención de biocombustibles de primera y segunda generación, a la restauración de tierras degradadas, a la ordenación de cuencas hidrográficas y a la gestión de la propiedad rural.
- Aceleración de la viabilidad comercial de procesos para la obtención de biocombustibles de tercera generación.
- Fortalecimiento en la investigación en procesos bioquímicos y termoquímicos para combustibles de primera y segunda generación.
- Estudios contextuales de la eficiencia de cultivos energéticos por hectárea, en función de la vocación de uso del suelo.
- Aprovechamiento de los residuos o coproductos de la obtención de biocombustibles de primera generación, como sucedáneos de pienso con alto contenido proteico.
- Investigación en materias primas alternas como la *Jatropha curcas*.
- Estudios de eficiencia económica a lo largo de la cadena de valor de los biocombustibles de segunda generación y tercera generación, como *Jatropha curcas*, lignocelulósicos y algas.
- Estudios sobre balances medioambientales en la producción de biocombustible, frente a la emisión de gases de efecto invernadero, que abarquen características de las materias primas, procesos de transformación, tecnologías de proceso y de manejo de subproductos.
- Fomento del desarrollo de plantas a escala comercial para la producción de biocombustibles de segunda generación.
- Creación de mercados mediante exenciones de impuestos o disposiciones preceptivas para incorporar los biocombustibles en los carburantes derivados del petróleo
- Respaldo a la producción desde normativas de promoción, percepción y distribución, que incentiven el consumo. Subvenciones directas de los productores primarios y acceso a recursos de inversión para el fomento de cultivos energéticos.
- Apoyo público a iniciativas de I+D+i en el área de biocombustibles y energías alternativas.

Frente a la incidencia de la dinámica impulsada desde lo político, en términos de seguridad alimentaria el crecimiento de la producción de biocombustibles pasó de 20.000 millones de litros al año en 2001 a 100.000 millones en 2011; esto impacta directamente el alza de alimentos como cereales, aceites y grasas comestibles, azúcares, principalmente. Los principales efectos son la reducción en la oferta de alimento directo para consumo humano y animal (materia prima para piensos). Dichos efectos de alza recaen en otros productos por concepto de sustitución. Los distintos biocombustibles tienen diferentes consecuencias, ya que pueden ser trasladados de un cultivo a otro, debido a que la sustitución entre estos puede tener lugar en el campo o en el nivel de la demanda. Los biocombustibles establecen un vínculo entre los mercados alimentarios y energéticos.

En lo que concierne al uso de la tierra, desde la vocación, la disponibilidad y los usos adecuados —con excepción de los biocombustibles de tercera generación y aquellos obtenidos a partir de desechos de actividades humanas— se compite por esta con otros cultivos agrícolas, otras formas de producción de bioenergía, y con la protección y sostenibilidad de la biodiversidad. En este punto, es necesario evaluar en el largo plazo las necesidades en términos del recurso suelo y su gestión para la producción de biocombustibles, teniendo en cuenta la disponibilidad, la vocación, el estado de uso actual y las condiciones de manejo.

Desde el punto de vista económico y social, se requieren estudios en los países en desarrollo acerca de: 1) evaluación a largo plazo del sector; 2) evaluación y prospección de los recursos naturales disponibles; 3) estudios socioeconómicos de las políticas en seguridad alimentaria y biocombustibles; 4) focalización del uso y producción de bioenergías para la preparación de alimentos, fuentes de calor y generación de energía local; 5) tipologías para determinar las condiciones y el enfoque específico en el diseño y la adopción de políticas en materia de bioenergía y biocombustibles.

Tendencias en I+D+i en los contextos nacional e internacional

A partir de la implementación de la vigilancia tecnológica, se identifica para las agroenergías como megatendencia de investigación la dinámica de publicaciones en relación con artículos científicos, los países y las instituciones líderes, así como los principales tópicos o líneas de trabajo.

Contexto internacional

La investigación en el desarrollo de biocombustibles y de tecnologías de producción ha evolucionado de manera conjunta con las generaciones descritas en la tabla 11. En la tabla 15 se sintetizan las tendencias tecnológicas actuales para las generaciones de biocombustibles.

Tabla 15. Tendencias tecnológicas en biocombustible

Generación de biocombustibles	Tecnologías	Factores críticos
Mercado actual. Primera generación: etanol, biodiésel y biogás. ⁸	• Fermentación. • Síntesis química. • Bioquímica – fermentación (hidrólisis enzimática). • Transesterificación catalítica de grasas en presencia de alcohol de cadena corta. • Descomposición anaeróbica con microorganismos (biodigestores).	• Priorizar aquellas materias primas que minimicen los requerimientos de tierra, agua, aportes externos de agroquímicos, entre otros aspectos. • La calidad del biodiésel está directamente relacionada con la composición de la materia prima.

(Continúa)

⁸ Bajo desarrollo de tecnologías para producción, relacionadas principalmente con: 1) calidad del biogás por ser utilizado; 2) sistemas de distribución limitados y bajo número de estaciones de abastecimiento, y 3) costos elevados de vehículos mixtos en comparación con vehículos que utilizan etanol o biodiésel.

Generación de biocombustibles	Tecnologías	Factores críticos
Segunda generación: biomasa lignocelulósicos, residuos agrícolas y agroindustriales, cultivos dedicados (forrajes)	• Vía termoquímica: gasificación y combustión. • Los procesos principales de las rutas son: producción de gas de síntesis (<i>syngas</i>) por gasificación, bioaceite por pirolisis o licuefacción e hidrólisis de biomasa para la producción de monómeros de azúcar y posterior fermentación a etanol u otros. biocombustibles. • Bioaceites por técnicas de hidrodesoxigenación, zeolitas, reformulación a vapor. • Vía bioquímica: ácida y enzimática. • Hidrólisis enzimática, fermentación de pentosas, uso de levaduras, uso de bacterias termófilas, fermentación en cocultivo, fermentación secuencial, sacarificación y fermentación simultánea, bioproceso consolidado.	• Se deben tener en cuenta caracterizaciones de la materia prima, en cuanto a contenido de carbohidratos, estructura y cantidad de lignina, cristalinidad de la celulosa, densidad, tamaño de partícula, contenido de extractivos, contenido de nitrógeno, contenido de azufre, contenido de inorgánicos y poder calorífico. • Uso de catalizadores químicos o biológicos. • Actualmente se encuentra en proceso de industrialización la ruta termoquímica, en plantas piloto o demostrativas. • Para la ruta bioquímica también hay iniciativas piloto, demostrativas y algunas comerciales.

(Continúa)

Generación de biocombustibles	Tecnologías	Factores críticos
Tercera generación: microalgas	• Biotecnología microbiana para producción de biodiésel, a partir de microalgas como <i>Spirulina</i>, <i>Chlorella</i>, <i>Dunaliella salina</i>, entre otras. • Fotobiorreactores. • Sistemas autótrofos y heterótrofos. • Potencial de uso de rutas bioquímicas y termoquímicas.	• Organismos que viven esencialmente en ambiente líquido y, por tanto, habrá técnicas particulares de cultivo, cosecha y procesamiento. La investigación se ha focalizado en la producción y poscosecha de estas. • Iniciativas de investigación a escala banco.
Interacción y evaluación	• Cada abordaje de conversión, bioquímica o termoquímica tiene sus ventajas: • Conversión bioquímica: alta selectividad y eficiencia de conversión. • Conversión termoquímica: robustez de la tecnología y capacidad de aceptar una amplia variedad de materias primas.	

Fuente: Elaboración propia a partir de Machado (s. f.)

Actualmente, se ha enfocado la investigación en buscar la industrialización de desechos forestales como paja, leña, harina de madera, cáscara de arroz, cáscara de coco, cáscara de cacahuete, agujas de pino, bambú, etc., principalmente a través de gasificación a través del proceso Fischer-Tropsch para biocombustibles, fermentación selectiva para obtención de biopolímeros, pirolisis para bioaceites y conversión enzimática a etanol. Así como al diseño de plantas de producción con líneas en vía termoquímica y bioquímica, integradas a biorrefinerías y tecnologías para obtención de biodiésel a partir de aceites usados a través de enzimas (Mussatto et al., 2010).

Una de las corrientes de investigación es la identificación de fuentes potenciales para obtener biocombustibles, a partir del contenido de carbohidratos como fuente primaria. En la actualidad, la principal fuente de materia prima para

biocombustibles son los cultivos de maíz, caña de azúcar y soya (Mussatto et al., 2010). Sin embargo, el uso de cultivos energéticos tiene efectos potenciales frente a escases de alimentos (seguridad alimentaria) y destrucción de recursos del suelo (agricultura intensiva). La investigación en biocombustibles a partir de cultivos energéticos debe considerar: 1) composición química de la biomasa; 2) prácticas de cultivo; 3) prácticas de uso de la tierra; 4) uso de recursos; 5) balance de energía; 6) emisión de gases de efecto invernadero; 7) mineralización de aguas y suelos; 8) uso de pesticidas; 9) erosión del suelo; 10) contribución a la biodiversidad, y 11) requerimientos hídricos.

En la figura 8 se presenta la dinámica de la megatendencia en energías alternativas para el sector agropecuario, de lo cual en 2017 se registraron 10.704 publicaciones. En el contexto global, los países líderes son Estados Unidos, China, Brasil, Alemania y Canadá con entidades como el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés), la Chinese Academy of Sciences, la Universidad de Alberta y la Universidad de Wageningen. En el contexto local de América Latina y el Caribe, después de Brasil, son líderes México con 1.018, Colombia con 439 y Argentina con 483.

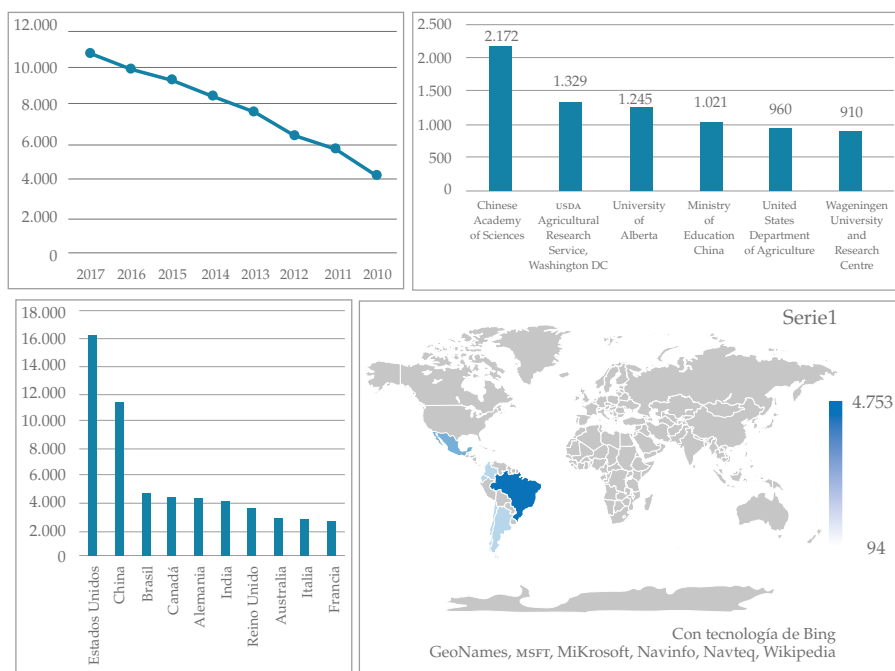


Figura 8. Energías alternativas como megatendencia en investigación en agricultura y ciencias biológicas. Publicaciones científicas 2010-2017.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Scopus (s. f.)

Las tendencias en tópicos específicos se centran en macroalgas y microalgas en la producción de biocombustibles, a partir de efluentes agrícolas como medios de cultivo, eficiencia ambiental de la simbiosis de biocombustibles, optimización de almacenamiento de materias primas, potencial de residuos agroindustriales para la producción de biocombustibles, biocombustibles de segunda generación y el uso de la tierra, recursos forestales para biocombustibles de segunda generación, evaluación de los sistemas agrícolas de producción de materias primas de bioenergía, integración de modelos bioeconómicos y enfoques de análisis de ciclo de vida y cultivos transgénicos para la producción de biocombustibles. Los principales temas son hidrólisis de materiales lignocelulósicos, pretratamientos para mejorar la digestibilidad en biomasa lignocelulósica, contribución de la biomasa en la producción energética actual y futura, y silvopastoriles como materia prima de biocombustibles. Además, algunos asuntos emergentes son la intensificación de sistemas de cultivo para la producción de inventarios de materias primas para biocombustibles, selección genética de especies con potencial para la producción de biocombustibles, caracterización de biomasa para la producción de biocombustibles, rotación de cultivos de cereales y leguminosas para sostenibilidad de biocombustibles, y digestión anaeróbica de heces bovinas para la producción de biogás.

Contexto nacional

Una de las corrientes de estudio es la identificación de fuentes potenciales para la obtención de biocombustibles, a partir del contenido de carbohidratos como fuente primaria. Una de estas fuentes es la *Jatropha curcas* L., para la explotación del aceite de su semilla en la producción de biodiésel a través de extracción por fluidos supercríticos, las evaluaciones de cultivos en función de potencial de biomasa, digestión anaeróbica, análisis socioeconómicos de oportunidades del cultivo en países en desarrollo, estudios de combustión de biodiésel derivado del aceite de *Jatropha*, análisis de impacto ambiental, entre otros. En cuanto al sorgo dulce (*Sorghum bicolor* L. Moench), se realizan investigaciones enfocadas a tecnologías de procesamiento, mejoramiento genético para incrementar los contenidos de azúcar, manejo agronómico del cultivo, rendimiento y estabilidad del cultivo con relación a la biomasa generada, mapeo de genes, etc. Similar al contexto internacional, se identifican los principales referentes y tópicos de investigación para agroenergías en la tabla 16.

Tabla 16. Energías alternativas como megatendencia de investigación en el sector agropecuario en Colombia

Criterio	Descriptores	
Número de publicaciones	Total megatendencia: 636. Área de agricultura y ciencias agropecuarias: 96.	
Organizaciones líderes en la megatendencia de agricultura y ciencias biológicas.	• Universidad Nacional de Colombia. • Universidad de Antioquia. • Centro Internacional de Agricultura Tropical. • Universidad del Valle. • Pontificia Universidad Javeriana. • AGROSAVIA.	
Países y organizaciones aliadas en investigación.	• Estados Unidos. • México. • Brasil. • España. • Francia. • Reino Unido.	• Universidade Estadual Paulista. • University of Tropical Agriculture Foundation. • Universidad de Castilla-La Mancha. • Chiang Mai University. • Food and Agriculture Organization of the United Nations. • Universidad de California, Davis.
Tópicos tendenciales	• Escenarios de biodiésel y agricultura. • Escenarios silvopastoriles energéticos. • Sorgo como materia prima alternativa para la generación de biocombustibles. • Biotecnología de la yuca como cultivo bioenergético. • Factores ambientales y de seguridad alimentaria.	
Tópicos de base	• Tendencias en biodiésel y bioetanol. • Cultivos establecidos y promisorios. • Mejoramiento genético especializado en bioenergéticos. • Biocombustibles: biotecnología y seguridad alimentaria. • Bioetanol del bagazo de caña. • Bioetanol de maíz.	
Tópicos emergentes	• Impactos en la expansión del cultivo de palma. • Pastoreo como materia prima potencial de biocombustibles. • Producción de bioaceites a través de pirólisis acelerada. • Estudios termodinámicos en el uso de bioetanol. • Estudios ambientales y de calidad en la combustión de biocombustibles. • Selección genética de especies con potencial para la producción de biocombustibles. • Caracterización de biomásas para la producción de biocombustibles. • Biogás a partir de pasturas.	

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Scopus (s. f.)

Capacidades nacionales en agroenergías

De los 1.132 grupos de investigación registrados en la plataforma Scienti de Colciencias (s. f.c), se identifican 857 afines al sector agropecuario y agroindustrial. En la figura 9, se presenta la distribución de estos grupos de investigación en los programas nacionales de ciencia, tecnología e innovación formalizados en Colciencias y las principales entidades de investigación; además, se muestra el total de investigadores en la megatendencia de agroenergías.

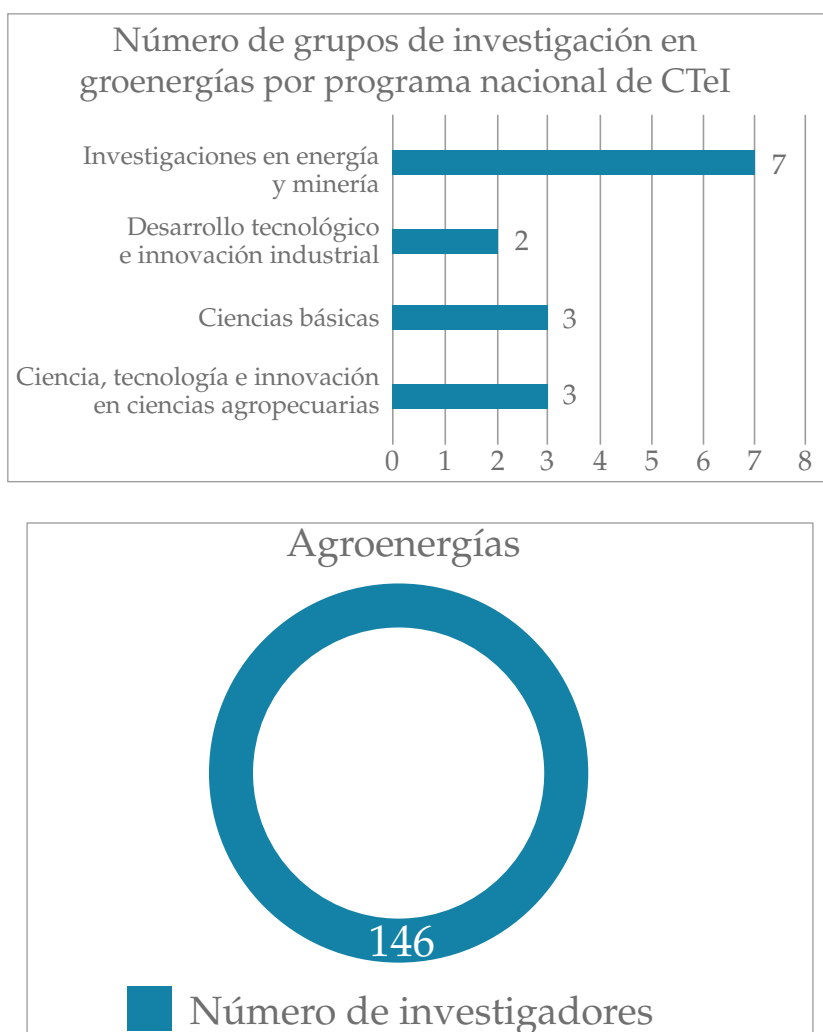


Figura 9. Capacidades nacionales en la megatendencia de agroenergías.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Colciencias (s. f.c)

Se puede ver, a partir de la figura 6, que se cuenta con 15 grupos de investigación afines a la megatendencia. La principal organización con mayor número de grupos de investigación relacionados con agroenergías es la Universidad Nacional de Colombia, con dos grupos.

Actores nacionales en agroenergías

La Federación Nacional de Biocombustibles es una entidad sin ánimo de lucro, que se destaca por su servicio a la nación para convertir el sector de los biocombustibles en una palanca de riqueza en aquellas regiones donde se establezcan los núcleos industriales. Esta federación implementa las leyes 693 de 2001 (alcoholes) y 939 de 2004 (biodiésel), y demás normas consecuentes.

Construcción de directrices estratégicas

Teniendo en cuenta que la implementación de la metodología del capítulo II se realiza en una megatendencia, se siguió la ruta 2 (figura 2) para el diseño de futuros. Se identificaron, a partir de los resultados de las fases previas, 17 limitaciones y 21 oportunidades, que sirvieron como insumo para la construcción de 31 lineamientos estratégicos de base, los cuales se clasificaron en los siguientes ejes temáticos:

- Materias primas: 7 lineamientos.
- Productos: 7 lineamientos.
- Procesos de transformación: 8 lineamientos.
- Transversales: 9 lineamientos.

A manera de ejemplo, se muestra cómo a partir de las oportunidades (O) y limitaciones (L) se construyeron las estrategias:

O: oferta de tecnologías para el desarrollo de agroenergías (por ejemplo, tecnologías para producción de biogás), generación de energía para zonas no interconectadas y alianzas con grupos de investigación internacionales y del sector privado.

L: se requieren programas de fomento a la producción orientada a agroenergías en pequeñas unidades (pequeños productores).

Lineamiento estratégico de base: producción de biocombustibles en plantas de dimensión reducida, accesibles a productores agropecuarios y otras empresas

pymes, como alternativa para generar una actividad económica y un empleo incluyente en el país.

Una vez identificados los lineamientos base, fueron sometidos a análisis y revisión por parte de actores clave y en mesas de trabajo relacionadas con los cuatro ejes temáticos, según su experiencia y percepción. Esto se llevó a cabo en un taller para definir estrategias que permitirán fortalecer el plan estratégico del sector en el corto, mediano y largo plazo.

Se definieron en total 25 directrices estratégicas (ver anexo 1) en agroenergías, de las cuales 6 se enfocan en materias primas; 5, en productos; 6, en el proceso de transformación, y 8 son transversales. A manera de ejemplo, se describen a continuación algunas de las estrategias definidas.

En materias primas

Conservar la biodiversidad ligada al desarrollo de materias primas para la generación de biocombustibles, a través de la investigación, transferencia e implementación de buenas prácticas tendientes a la sostenibilidad ambiental (rondas hídricas, cuerpos de agua, relitos de bosques, corredores ecológicos).

En productos

Enfoque de investigación en biocombustibles avanzados a partir del Mercado, productos con potencial, viabilidad técnica y económica, materias primas disponibles y opciones tecnológicas.

En procesos de transformación

Desarrollo de mecanismos de transferencia de conocimiento y financiamiento para la producción de biocombustibles, en plantas de dimensión reducida accesibles a productores agropecuarios y otras empresas Pymes, como alternativa para generar una actividad económica y empleo incluyente en el país (proyectos de última milla).

En temas transversales

Incrementar el porcentaje de participación de los biocombustibles y otras agroenergías, en la matriz energética nacional con relación al promedio de la región.

Perspectivas de futuro

Después de consolidadas y formuladas las estrategias, los actores definieron perspectivas de futuro a 2026 para la megatendencia en agroenergías en el sector agroindustrial:

- Resolución de los problemas subyacentes relacionados con la seguridad alimentaria, a partir de políticas conexas que promuevan el desarrollo de un sector próspero de empresas agroindustriales y de una industria alimentaria eficaz y altamente productiva.
- A 2026 el país contará con una política energética integral que incluye los biocombustibles y las demás agroenergías, soportada por procesos sostenibles de I+D+i, con un sector competitivo e incluyente.
- Oferta de tecnologías para el desarrollo de agroenergías (por ejemplo, tecnologías para producción de biogás), generación de energía para zonas no interconectadas y alianzas con grupos de investigación internacionales y sector privado.
- Fortalecimiento de la política nacional de biocombustibles, de los instrumentos de planificación, de regulación ambiental, gestión ambiental y ecosistémica de la producción de materias primas para biocombustibles y promoción a su uso.

Conclusiones

La especialización en agroenergías en el sector agropecuario tiene como base procesos tecnológicos “tradicionales” para el aprovechamiento, tanto de los cultivos energéticos, como de los residuos de actividades primarias en las unidades productivas, que han derivado en productos clave para la inserción de los biocombustibles en la matriz energética nacional, como el bioetanol, el biodiésel, el biogás y la generación de energía eléctrica a partir de biomasa.

De manera complementaria, las orientaciones de agroenergía como megatendencia para el sector agropecuario obedecen a aspectos macro en escenarios de cambio climático, a la oferta fluctuante de combustibles fósiles, a las políticas de seguridad alimentaria, entre otros. En dichos aspectos, las oportunidades que se visualizan con mayor potencial y realidad son la producción de biocombustibles líquidos (etanol y biodiésel), la obtención de energía por cogeneración, carbonización o

gasificación a partir de subproductos y residuos de las cadenas agroindustriales (aserrío, celulosa, arroz), la generación de biogás procesando residuos de producción animal intensiva (tambos, criaderos de cerdos, aves, etc.) y la industria frigorífica y láctea.

Por otra parte, aún es necesario que desde las actividades de CTi se resuelvan los siguientes interrogantes en temas de agroenergías:

- ¿Cómo puede ser mejor la transición de una economía basada en hidrocarburos a una economía basada en carbohidratos, a través del uso de biorrefinerías para procesar productos agrícolas y así proveer productos de alto valor agregado, biomateriales, energía y mejoradores de cultivos, en adición a los productos alimenticios ya generados?
- ¿Cuál es la capacidad a largo plazo de los inventarios mundiales de combustibles fósiles, fertilizantes NPK, para soportar los sistemas de producción intensivos?
- ¿Cómo la tecnificación de los procesos de obtención de biocombustibles puede ser comparada con los costos y el rendimiento, en el corto y el largo plazo?
- ¿Cómo estos procesos pueden ser comparados desde una perspectiva de impacto ambiental?



En este capítulo se describen los resultados obtenidos con la metodología descrita en el capítulo II, para la megatendencia de sostenibilidad ambiental, variabilidad y cambio climático. Se generó como punto de partida la base conceptual relacionada con el término *sostenibilidad ambiental* en el ámbito mundial, para el posterior análisis de los entornos científico-tecnológico, político-normativo y socioeconómico, como caracterización del contexto de la megatendencia. Luego, se especifican los tópicos clave de investigación en el ámbito internacional y nacional, y las capacidades nacionales para el desarrollo de esfuerzos en ciencia, tecnología e innovación (CTi) en esta megatendencia. Finalmente, a partir de estos insumos, se presentan las directrices primordiales y perspectivas de futuro, construidas por expertos y actores esenciales de la megatendencia, que se convierten en insumo para la formulación de política pública.

Elementos conceptuales

El concepto macro que cobija las temáticas de sostenibilidad ambiental, cambio y variabilidad climática es el de *desarrollo sostenible*, que de manera homóloga a estos componentes no es estático y ha visto influenciada su evolución por cambios paralelos en los demás elementos del entorno, en aspectos sociales, tecnológicos, culturales e incluso políticos y normativos. De acuerdo con Saura-Calixto y Hernández-Prados (2008), se distinguen tres etapas en la evolución del concepto:

- Etapa 1. Concienciación del deterioro medioambiental: los diferentes conceptos y aproximaciones dados por diferentes instancias y entidades en el ámbito mundial, que están centrados en factores físico-naturales y basados en las ciencias ambientales y de la tierra.
- Etapa 2. Conservación de recursos naturales y protección de la naturaleza, a través de manejos agroecológicos y agricultura de conservación.
- Etapa 3. Enfoque sistémico y de complejidad: entendimiento y gestión de las relaciones dinámicas del factor ambiental con factores antropológicos de cultura, economía, política. Se busca así el uso y la distribución racional de los recursos naturales.

En la tabla 17 se sintetizan los elementos conceptuales clave de cada etapa, la temporalidad con la que fueron contruidos y las principales entidades que aportaron para su definición.

Tabla 17. Evolución del concepto de desarrollo sostenible

Etapa	Elementos de contexto	Periodo	Instancias clave	Elementos conceptuales
Enfoque en aspectos físico-naturales: mejorar el hábitat, la calidad de vida de los ciudadanos y las condiciones de espacio vital de los pueblos y de las comunidades.	Aumento de contaminación. Evidencia del deterioro del medio ambiental	Años 50, 60 y 70.	Convenio de Oslo de 1972. Conferencia de las Naciones Unidas Estocolmo 1972. Cumbre de París 1972.	Disminución de contaminación por vertimientos. Análisis de los lineamientos de la política medioambiental a nivel atmosférico, hídrico y acústico. Protección de los recursos naturales a futuro. Migración de lo preventivo a lo reactivo.
Conservación y protección de recursos naturales: fauna y flora.	Protección del medio ambiente y recursos naturales. Enfoque global de los problemas ambientales. Enfoque ecológico. Crecimiento de la economía vs. recursos limitados. Perspectiva ambiental en países en desarrollo.	Años 70 y 80.	Modificación del Tratado de Roma. Informe Brundtland. Educación medioambiental, Junta de Ministros de Educación 1988. Programa de Acción Comunitario en Materia de Medio Ambiente 1987-1982.	Programa de intervención a nivel global y regional. Vinculación de elementos científicos a la prevención. Sensibilización y fomento de la educación ambiental. Marco normativo de exigencias ambientales.

(Continúa)

Etapas	Elementos de contexto	Periodo	Instancias clave	Elementos conceptuales
Ética de la sostenibilidad desde el desarrollo humano: estrategia global para lograr un desarrollo sostenible a partir de la cooperación mundial.	Debate social sobre el desarrollo humano. Uso y respeto por los recursos naturales. Consideración de las dimensiones socioculturales, políticas y económicas en las relaciones entre medio ambiente y humanidad. Interdependencia entre medio ambiente, desarrollo y educación.	Entre 1990 y 2000	Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Cumbre de la Tierra (1992). Tratado de la Unión Europea o Tratado de Maastricht (1992). Tratado de Ámsterdam (1999). Cumbre de Luxemburgo (1997). Cumbre de Cardiff (1998). Cumbre de Helsinki (1999). Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible, Johannesburgo (2002). Decenio de las Naciones Unidas para la Educación con miras al Desarrollo Sostenible (2005-2014).	Integración de las exigencias ambientales en las diferentes políticas comunitarias. Establecimiento del principio de responsabilidad compartida. Consolidar la idea de desarrollo sostenible dejando de constituir una opción para convertirse en obligación. Elaboración de estrategia para introducir el principio de integración del medio ambiente en todas las políticas, de forma transversal. Puesta en práctica del Protocolo de Kioto. Insistencia en la introducción de criterios ambientales en políticas sectoriales diferentes. Detener la pérdida de biodiversidad. Logro de un consumo de recursos renovables y no renovables, que no superen la capacidad de carga del medio ambiente. Desarrollo social equilibrado.

Fuente: Elaboración propia a partir de Saura-Calixto y Hernández-Prados (2008)

La sostenibilidad o sustentabilidad ambiental puede ser definida, acorde con Gligo (1987, p. 25), como:

(...) una condición que, en correspondencia con los horizontes de estrategias de desarrollo de largo plazo, sobre la base del acervo tecnológico que la sociedad posee, y considerando la posibilidad real que ella tiene para acceder a los recursos materiales y energéticos, logra la coexistencia armónica del hombre con su medio ambiente equilibrando los sistemas transformados y creados. Evita, por lo tanto, su deterioro.

El correcto manejo de los recursos naturales integrales que componen los aparatos productivos hace que los biólogos, agrónomos, especialistas en agroindustrias, economistas y planificadores, entre otros, realicen un análisis racional de costos y beneficios frente a la sostenibilidad de estos. La sostenibilidad ambiental en el contexto mundial tiene relación directa con el aumento de la población y de la demanda por alimentos, agua, materias primas y otros componentes relacionados de manera directa con la oferta ambiental, los cuales han ocasionado que las dinámicas de patrones de desarrollo incidan de manera negativa en los niveles de respuesta del entorno ambiental. Esto disminuye las capacidades de respuesta de servicios naturales de regeneración y depuración (servicios ecosistémicos) (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT], 2007).

Elementos clave del contexto de la megatendencia para Colombia

El entorno político normativo de la biotecnología y la biodiversidad para la CTi tiene como actor principal al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) que, acorde con el artículo 1 del Decreto 3570, es:

(...) rector de la gestión del ambiente y de los recursos naturales renovables, [está] encargado de orientar y regular el ordenamiento ambiental del territorio y de definir las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y del ambiente de la nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible (MADS, s. f.b).

Sus orientaciones, funciones y objetivos enmarcan las direcciones de: 1) asuntos ambientales sectorial y urbano; 2) temas marinos costeros y recursos acuáticos; 3) bosques, biodiversidad y servicios ecosistémicos; 4) cambio climático; 5) gestión integral del recurso hídrico; 6) ordenamiento ambiental territorial y coordinación del Sistema Nacional Ambiental (SINA), y 7) negocios verdes y sostenibles.

Específicamente, para el sector ambiental en Colombia, desde el ámbito público, la institucionalidad está conformada por:

- **MADS:** encargado de la gestión del ambiente y de los recursos naturales renovables. Dirige el SINA, que está organizado de conformidad con la Ley 99 de 1993, y formulará la política nacional ambiental y de recursos naturales renovables.
- **Unidades administrativas especiales:** 1) **Parques Nacionales Naturales de Colombia:** administra y maneja el Sistema de Parques Nacionales Naturales, y reglamenta el uso y funcionamiento de las áreas que lo conforman, según lo dispuesto en el Decreto-Ley 2811 de 1974, Ley 99 de 1993 y sus decretos reglamentarios, y 2) **Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA):** es la encargada de que los proyectos, las obras o actividades sujetos de licenciamiento, permiso o trámite ambiental cumplan con la normativa ambiental.
- **Entidades adscritas:** 1) encargadas de suministrar los conocimientos, los datos y la información ambiental que requieren el MADS y demás entidades del SINA.
- **Entidades vinculadas:** 1) **Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Invemar):** da apoyo científico y técnico al MADS, para el cumplimiento de sus funciones (Decreto 1276 de 1994, artículo 2); 2) **Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH):** encargado de realizar, en el territorio continental del país, investigación científica sobre los recursos genéticos de la flora y la fauna nacionales, incluidos los hidrobiológicos. Estas investigaciones contemplarán recolección, conservación, caracterización, evaluación, valoración y aprovechamiento de estos recursos (Decreto 1603 de 1994, artículo 19); 3) **Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico John von Neumann (IIAP):** realiza y divulga estudios e investigaciones científicas relacionados con la realidad biológica, social y ecológica del litoral Pacífico y del Chocó biogeográfico (Decreto 1603 de 1994, artículo 30); 4) **Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, (Sinchi):** tiene como

objeto específico la ejecución y divulgación de estudios e investigaciones científicas de alto nivel, concernientes a la realidad biológica, social y ecológica de la región amazónica (Decreto 1603 de 1994, artículo 25).

- Órganos, comités y consejos de asesoría y coordinación: Consejo Nacional Ambiental, Consejo Técnico Asesor de Política y Normatividad Ambiental, Consejo Ambiental Regional de la Sierra Nevada de Santa Marta, Comité de Coordinación del Sistema de Control Interno, Comité Sectorial de Desarrollo Administrativo, Comité de Gerencia y Comisión de Persona.
- Fondo Nacional Ambiental (Fonam): es un instrumento financiero de apoyo a la ejecución de las políticas ambiental y de manejo de los recursos naturales renovables.
- Corporaciones autónomas regionales y de desarrollo sostenible: son entes corporativos de carácter público, creados por la ley e integrados por las entidades territoriales que, por sus características, constituyen geográficamente un mismo ecosistema o conforman una unidad geopolítica, biogeográfica o hidrogeográfica; además, están dotados de autonomía administrativa y financiera, patrimonio propio y personería jurídica. Son los encargados, por ley, de administrar, dentro del área de su jurisdicción, el medio ambiente y los recursos naturales renovables, y de abogar por su desarrollo sostenible (Decreto 1768 de 1994, artículo 1).

La cartera de ambiente cuenta con una normatividad incluyente y extensiva a otras carteras, y transversal a los sectores productivos. Contempla, además, temas específicos frente a los recursos naturales de suelo, agua, aire, flora y fauna; políticas para el control sanitario y fitosanitario, para las áreas protegidas, para biodiversidad y gestión del territorio; políticas de gobernanza del sistema nacional ambiental, políticas para la protección de ecosistemas y nichos estratégicos, estrategias de servicios ambientales y estrategias para la articulación intersectorial.

El entorno socioeconómico de esta megatendencia en Colombia presenta indicadores clave para variables específicas sobre el uso de los recursos naturales (tabla 18).

Tabla 18. Indicadores de sostenibilidad ambiental para Colombia, acordes con el Banco Mundial

Indicador	Descripción	Valor	Año
Consumo de fertilizantes (kilogramos por hectárea de tierras cultivables).	El consumo de fertilizantes (100 gramos por hectárea de tierra cultivable) mide la cantidad de elementos nutritivos de las plantas por unidad de tierra cultivable.	648,64	2013
Producción de electricidad a partir de fuentes renovables, excluida la hidroeléctrica (kilovatio-hora).	Producción de electricidad a partir de fuentes renovables, con exclusión de hidroeléctricas; incluye geotérmica, solar, mareas, eólica, biomasa y biocombustibles.	2.008.000.000	2013
Producción de electricidad a partir de fuentes renovables, excluida la hidroeléctrica (% del total).	Porcentaje con respecto al total de energías renovables incluidas en la matriz energética.	3,22	2013
Acceso a la electricidad rural (% de la población rural).	Porcentaje con respecto a la población en zonas rurales.	87,9	2012
Combustibles renovables y residuos (% del total de energía).	Los combustibles renovables y residuos constituyen la biomasa sólida, la biomasa líquida, el biogás, los residuos industriales y municipales, medidos como porcentaje del consumo total de energía.	11,63	2013
Emissiones agrícolas de gas metano (miles de toneladas métricas de equivalente de CO ₂ /año).	Las emisiones de metano procedentes de la actividad agrícola son originadas por animales, desechos animales, producción de arroz, quema de residuos agrícolas (no energéticos, <i>in situ</i>) y quema de sabanas.	43.791	2010
Emissiones de metano procedentes de la actividad agrícola (% del total).	Emissiones reportadas del sector pecuario.	65,66	2010

(Continúa)

(Continuación tabla 18)

Indicador	Descripción	Valor	Año
Emisiones agrícolas de óxido nítrico (miles de toneladas métricas de equivalente de CO ₂).	Las emisiones de óxido nítrico procedentes de la actividad agrícola son las originadas por el uso de fertilizantes (abono sintético y animal), el tratamiento de desechos animales, la quema de residuos agrícolas (no energéticos, <i>in situ</i>) y la quema de sabanas.	20.116,5	2010
Emisiones de óxido nítrico procedentes de la actividad agrícola (% del total).	Emisiones reportadas del sector agrícola.	80,0	2010
Emisiones y absorciones netas anuales de gases de efecto invernadero por cambio en los usos de la tierra y la silvicultura (toneladas métricas equivalentes a CO ₂ al año).	Las emisiones y absorciones netas de gases de efecto invernadero por cambio en los usos de la tierra y la silvicultura se refieren a los cambios en los niveles atmosféricos de todos los gases de efecto invernadero atribuibles a actividades de cambio en el uso de los bosques y la tierra.	No medido	No aplica
Sequías, inundaciones, temperaturas extremas (% de la población, promedio de 1990-2009 afectada).	Sequías, inundaciones y temperaturas extremas es el porcentaje promedio anual de población que se ve afectada por los desastres naturales clasificados como sequías, inundaciones o episodios de temperaturas extremas.	0,65 %	2009
Especies en peligro de extinción: Aves, peces, plantas (superiores), mamíferos.	Reportadas por el Fondo Mundial para la Naturaleza (wwf por sus siglas en inglés).	Aves: 106. Peces: 54. Plantas superiores: 245. Mamíferos: 54.	2014

(Continúa)

(Continuación tabla 18)

Indicador	Descripción	Valor	Año
Extracción anual de agua dulce para uso agrícola (% del total de extracción de agua dulce).	La extracción anual de agua dulce se refiere al total de extracción de agua, sin contar las pérdidas por evaporación de las cuencas de almacenamiento.	54,3 %	2013
Áreas terrestres protegidas (% del área total de la tierra).	Las áreas (por lo menos de 1.000 hectáreas) protegidas terrestres son zonas total o parcialmente protegidas, designadas por autoridades nacionales como reservas científicas con acceso público limitado, parques nacionales, monumentos nacionales, reservas naturales o santuarios de la naturaleza, paisajes protegidos y zonas manejadas principalmente para uso sostenible.	21,17645368	2013
Áreas marinas protegidas (% de las aguas territoriales).	Las áreas marinas protegidas son zonas de terreno intermareal o submareal, junto con sus aguas suprayacentes y su flora, fauna y características históricas y culturales conexas, que han sido reservadas por ley o por cualquier otro medio eficaz para proteger parte del entorno que encierra o su totalidad.	16,134	2013
Rentas forestales (% del producto interno bruto [PIB]).	La renta forestal es la cosecha de madera en rollo multiplicada por el producto de los precios promedio y una tarifa específica para cada región.	0,296	2013
Rentas mineras (% del PIB).	La renta del mineral es la diferencia entre el valor de producción para la existencia de minerales a precios mundiales y su costo total de producción. Los minerales que se incluyen en el cálculo son estaño, oro, plomo, zinc, hierro, cobre, níquel, plata, bauxita y fosfato.	0,755	2013

(Continúa)

(Continuación tabla 18)

Indicador	Descripción	Valor	Año
Área selvática (kilómetros cuadrados).	La superficie forestal se refiere a las tierras con agrupaciones de árboles naturales o plantados, por lo menos de 5 metros <i>in situ</i> , sean estas para usos productivos o no; además, excluye las poblaciones en los sistemas de producción agrícola (por ejemplo, en plantaciones frutales y sistemas agroforestales) y los árboles en los parques y jardines urbanos.	602.970	2013
Área selvática (% del área de tierra).		52,77	2013
Datos nacionales Censo Nacional Agropecuario 2014			
56 parques nacionales naturales.			
50,6 % del área rural dispersa corresponde a bosques naturales, de un total de 113.008.623,9 ha.			
95,1 % de las unidades productivas agropecuarias (UPA) tiene acceso a fuentes de agua para fines productivos (42,1 % a través de lago o laguna natural o artificial, 0,1 % distritos de riego).			
74,9 % de la UPA realiza prácticas de conservación de suelos.			
54 % de las UPA protege las fuentes naturales de agua.			
			2014

Fuente: Elaboración propia, a partir de información del Banco Mundial (s. f.); Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (s. f.a)

En cuanto a la contaminación de suelo y aguas por metales pesados, el estudio desarrollado por Alonso Latorre, Castillo y Brandão (2014) presenta información de investigaciones desarrolladas para Colombia respecto a la incidencia de arsénico en minerales, suelos y sedimentos, en agua superficial y aguas subterráneas; en el sector agrícola y en la cadena de suministros de alimentos.

Muchos metales (cadmio, cromo, plomo, mercurio) y semimetales (arsénico) están presentes naturalmente en los suelos y aguas, pero en la actualidad y por las diferentes actividades antrópicas (minería, agricultura, entre otras) estos han aumentado sus concentraciones sustancialmente (Giuffré, Ratto, Marbán, Schonwald, & Romaniuk, 2005). Algunos son esenciales para los vegetales, otros no; sin embargo, pueden ser absorbidos, translocados y acumulados en las plantas, debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos requeridos.

La fitotoxicidad a veces se manifiesta; no obstante, para algunos casos las plantas pueden tolerar grandes cantidades de contaminantes (Rascio & Navari-Izzo, 2011) y no mostrar alteraciones a simple vista (son plantas hiperacumuladoras). Si ingerimos estos alimentos, a mediano y largo plazo, provocan graves daños a la salud (Queirolo et al., 2000). Algunos estudios realizados con hortalizas en Cundinamarca (Barragán, 2008; Miranda et al., 2008; Prieto et al., 2011) muestran que estas plantas son regadas con agua del río Bogotá y presentan concentraciones de plomo, arsénico y mercurio, con valores muy superiores a lo que exige la normatividad europea.

El entorno de capacidades en esta megatendencia presenta, de acuerdo con el informe del estado de la ciencia en Colombia (Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación [Colciencias], s. f.d), los siguientes indicadores:

- 71 grupos de investigación en el área de ciencias naturales, específicamente en ciencias de la tierra y medioambientales. En promedio hay 3 investigadores por grupo.
- Principales grupos de investigación por número de investigadores: Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos (15); Oceánicos, Grupo de Oceanografía e Ingeniería Costera de la Universidad Nacional (14); Grupo de Investigación en Georrecursos, Minería y Medio Ambiente (GEMMA) (9); Grupo de Geociencias (9); Grupo de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental (GAIA) (9); Ciencia e Ingeniería del Agua y el Ambiente (8).

- En producción de conocimiento se cuenta con 1.586 productos de nuevo conocimiento (artículos científicos), 2.891 de apropiación social del conocimiento (eventos científicos, informes finales de investigación, documentos de trabajo, etc.), 3.141 de formación en recurso humano (tesis de pregrado, maestría, doctorado, creación de cursos, etc.) y 548 desarrollo tecnológico e innovación (innovaciones en procedimiento, innovaciones en producto, software, planta piloto, norma, regulación, etc.).
- En la Convocatoria 693 de 2014 de Colciencias se registraron 254 grupos de investigación, cuyo programa principal declarado es ciencia, tecnología e innovación en ambiente, biodiversidad y hábitat. De esos 254, 234 fueron reconocidos y 20 no. De los reconocidos, 25 están en categoría A y 18 en A1. 146 grupos tienen como programa secundario ciencia, tecnología e innovación en ambiente, biodiversidad y hábitat, 23 en categoría A y 19 en categoría A1.
- Específicamente, para el sector agroindustrial la plataforma Siembra (s. f.) registra 166 grupos con afinidad en las áreas temática de manejo de suelos y aguas (80) y manejo ambiental y sostenibilidad (123). 10 son de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA); 6, de la Universidad de Nariño; 29, de la Universidad Nacional de Colombia; 7, de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), entre otros. 104 son de la región andina, 19 del caribe y 32 del pacífico, principalmente.
- En proyectos de investigación para el sector agroindustrial se registran 160 proyectos: 102 de investigación aplicada, 27 de investigación adaptativa, 19 de investigación básica y 12 de transferencia. De estos, 23 se encuentran en ejecución y 137 ya están finalizados. 87 tienen áreas temáticas en manejo de suelos y aguas, 53 en manejo ambiental y sostenibilidad y 7 en manejo del sistema productivo, entre otros. 42 de estos proyectos son transversales, 11 en la cadena forestal, 9 en la cadena de carne bovina, 7 en la cadena láctea, 7 en cacao, etc. De estos proyectos, 126 son desarrollados por AGROSAVIA y 10 por la Universidad Nacional de Colombia.
- En cuanto a investigación, el sector cuenta con 84 resultados disponibles: 78 en manejo de suelos y aguas, y 6 en manejo ambiental y sostenibilidad. 76 ofrecen una ventaja productiva; 3, una ventaja ambiental, y 2, una ventaja económica. 8 proyectos se orientan para la cadena de algodón, 6 para la cadena de yuca, 5 para papa, 5 para cítricos, etc.

- En términos de visibilidad de la investigación a nivel mundial, en el sistema de consulta de Elsevier,⁹ Scopus, para Colombia se registran en su esquema de indexación, a la fecha, 60.097 artículos. En la tabla 19 se presenta el análisis de esta capacidad productiva.

Tabla 19. Producción intelectual en investigación en Colombia para sostenibilidad ambiental

Criterio	Datos
Número de publicaciones totales de Colombia	• 61.124: 45.346 artículos indexados, 9.073 actas de conferencia, 2.928 reseñas, 679 notas editoriales, 614 capítulos de libro, 153 artículos <i>in press</i>, 152 estudios breves y 38 libros. • Colaboración con otros países como Estados Unidos, España, Brasil, Reino Unido, Francia, México, Alemania, Argentina, Canadá, entre otros. • Entidades líderes: Universidad Nacional de Colombia (13.893), Universidad de Antioquia (7.419), Universidad de los Andes (5.456), Universidad del Valle (4.789), Pontificia Universidad Javeriana (2.916), Universidad Industrial de Santander (2.439), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) (1.379). • Entidades en colaboración con otros países: Lomosov Moscov State University (1.297), Boston University (1.218), Institut fiziki vysokikh energii (1.270), Alikhanov Institute for Theoretical and Experimental Physics (1.220), Universidade de Sao Paulo (1.201).
Número de publicaciones en áreas afines a la sostenibilidad ambiental	Ciencias ambientales: 2.766, de estas 900 se relacionan con agricultura y ciencias biológicas. Tierra y ciencias planetarias: 2.255. Energía: 1.978.

Fuente: Elaboración propia a partir de Scopus (s. f.)

⁹ Editorial líder en la divulgación de información científica y tecnológica (puede consultarse en <http://www.elsevier.es/>).

Orientaciones en los contextos nacional e internacional

Las directrices de base para el desarrollo de iniciativas de I+D+i se identifican a través del análisis de documentos sectoriales, documentos institucionales y documentos de política pública específicos o afines a la megatendencia. El objetivo de este análisis es establecer el marco de referencia sobre el cual deben ser formulados proyectos de CTi.

Orientaciones en el contexto nacional

El informe referente al estado de avance de Colombia frente a los objetivos de desarrollo de milenio (octubre de 2015) (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2015), en específico el objetivo #7: “Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente”, establece un nivel de cumplimiento parcial soportado en:

- 95 % de cumplimiento en superficie reforestada: Colombia reportó en 2014 un promedio anual de áreas en proceso de restauración de 21.384,75 hectáreas, teniendo en cuenta que la meta es de 23 mil hectáreas.
- 100 % de cumplimiento en el consumo de sustancias que agotan la capa de ozono, 100 % de cumplimiento en proporción de la superficie total protegida por el Sistema Nacional de Parques Naturales (SPNN), 79 % de cumplimiento en proporción de áreas protegidas que cuentan con planes de manejo formulados o actualizados.
- En zona rural el abastecimiento de agua con acceso a métodos de abastecimiento de agua adecuados (conexión a acueducto, otra fuente por tubería, pozo, con bomba, agua embotellada, carrotanque y pila pública), 73 % de cumplimiento a nivel país, Caldas cumple con el 99 % y Chocó con el 34 %.

La implementación de sistemas productivos no aptos para las condiciones pedológicas, orográficas y climáticas de una región causa la erosión de suelos, desertificación, cambios en el régimen hídrico, pérdida de la biodiversidad, aridización, erosión de suelos, desertificación, riesgo de inundaciones en cultivos, desastres naturales (granizada, heladas, vendavales, etc.), entre otros factores (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2010). El 85 % de los sistemas productivos de Colombia se ubica en áreas vulnerables a la desertificación y 48 % del país es susceptible a la erosión. Además, se degradan anualmente 2000 ha en la región andina y las pérdidas

de degradación ambiental se estiman en 3,7% del producto interno bruto (PIB). Este escenario lleva a la necesidad de establecer estrategias enfocadas en:

- Rehabilitación de la infraestructura productiva: replanteamiento y reestructuración de los sistemas productivos.
- Vías de acceso a distritos de riego, sistemas de bombeo y reforzamiento de diques.
- Planes de suplementación estratégica para bovinos, en el apoyo a la recuperación del sector de pesca y acuicultura.
- Investigación y transferencia de tecnología para la rehabilitación de suelos y sistemas productivos.
- Acceso a la información para los beneficiarios, implementación de mecanismos de vigilancia y auditoría de los instrumentos y beneficiarios.

El estudio de impactos socioeconómicos del cambio climático desarrollado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Departamento Nacional de Planeación (DNP) (2014) establece, en relación con el sector agropecuario, los siguientes escenarios:

- Reducción del 7,4% de los rendimientos anuales agrícolas para maíz tecnificado, arroz irrigado y papa entre 2010 y 2100.
- En el sector pesquero, a nivel nacional, se vería una disminución anual promedio de la carga desembarcada del 5,3% de 2010 a 2100.

Ante esto, el estudio del Plan de Acción Sectorial (PAS) de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI), sector agropecuario (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2014) consignan elementos clave para fortalecer la sostenibilidad ambiental:

- Opciones de mitigación: agricultura de precisión, uso eficiente de agroquímicos, prácticas sostenibles de cultivos, siembra de residuos poscosecha, sistemas mixtos, eficiencia en prácticas de labranza, reducción del consumo de combustibles, uso de biocombustibles, eficiencia energética.
- Sistemas pecuarios, conversión a sistemas silvopastoriles, actividades de intensificación, manejo de residuos en praderas, eficiencia en uso del suelo.
- Incrementos de áreas forestales comerciales y reforestación.
- Plantaciones de aguacate y mango como opciones para la captura de CO₂.
- Estudios de secuestro de carbono en cultivos de interés comercial, como papa, palma de aceite, cacao, cítricos, mango y aguacate.

Las orientaciones nacionales se enfocan en cuatro ejes: agua, suelo, clima y agroecosistemas.

Agua: el recurso hídrico en Colombia¹⁰ tiene como principales características:

- Rendimiento hídrico promedio de 63 l/s-km², seis veces mayor que el rendimiento promedio en el mundo (10 l/s-km²) y tres veces mayor que el rendimiento promedio de la región de América Latina y el Caribe (21 l/s-km²).
- Del volumen total anual de precipitación en Colombia (3.700 km³), el 61 % se convierte en escorrentía superficial, equivalente a un caudal medio de 71.800 m³/s, correspondiente a un volumen de 2.265 km³ al año.
- La principal área hidrográfica del país es el río Amazonas.
- El volumen total de aguas subterráneas es del orden de 5.848 km³.
- Las reservas de aguas subterráneas corresponden al 72 % de la oferta total de agua superficial y subterránea, como reserva ante la variabilidad y el cambio climático.
- Proyecciones del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) reducciones en las precipitaciones en rangos del 16 % al 35 %, entre 2011 y 2040.
- La expedición del Decreto 1323 de 2007 crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH), principal instrumento que gestiona la información sobre estado del agua como recurso natural del país.
- El 74 % del área total del territorio corresponde a cuencas hidrogeológicas.
- 2.680.000 ha de humedales.
- Problemáticas ocasionadas por: 1) alta presencia de sedimentos, deforestación y deterioro de suelos; 2) alta contaminación originada por aguas residuales de tipo doméstico, basuras de origen doméstico y contaminación causada por aguas y residuos sólidos industriales; 3) alta contaminación producida por el uso de plaguicidas, y 4) contaminación por actividades mineras auríferas.
- La distribución del recurso hídrico no es equitativa, dado que cerca del 70 % de la población colombiana vive en el área de la cuenca del río Magdalena, Cauca, que aporta el 15 % de la oferta natural de agua, y el 30 % restante está ubicada en las vertientes del Orinoco, Amazonas, Pacífico, Atrato, Catatumbo y de la Sierra Nevada, que contribuyen con el 85 % del agua (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam], 2010).

¹⁰ Colombia hace parte de los nueve países que abarcan el 60 % de las reservas mundiales de agua dulce, junto con Brasil, Canadá, China, Congo, India, Indonesia, Rusia y Estados Unidos.

- Protección de los servicios ecosistémicos del recurso hídrico y la conservación de cuencas, a través del incremento de las tasas de uso del agua (TUA) (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2015).
- Planificación del uso del agua a partir de la gestión de la red hídrica superficial y las de reserva subterránea, durante los periodos de exceso y déficit hídrico.

Suelo: los suelos y la tierra hacen parte de los recursos naturales de un país, y tienen la misma importancia que el agua y los bosques. Son sistemas complejos y dinámicos, y se constituyen en componente fundamental del ambiente, pues cumple múltiples funciones y servicios ecosistémicos vitales para la supervivencia humana y las relaciones sociales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2013). El recurso suelo y subsuelo en Colombia¹¹ tiene como principales características:

- El uso de la tierra en Colombia adolece de planificación, ya que el 32,7 % se sobreutiliza, el 29,7 % se subutiliza y solo el 37,6 % se emplea correctamente. Esto referido a las tierras intervenidas por el hombre (51,2 % del total territorial de Colombia).
- Normatividad específica en relación con el uso y la distribución del suelo para: Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) (Decreto 2372 de 2010), resguardos indígenas (Decreto 2164 de 1995), territorios colectivos, (Decreto 1745 de 1995), mecanismos de participación en materia ambiental (Ley 99 de 1993).
- Las estructuras geoecológicas y los procesos climáticos que generan los suelos colombianos son muy complejos; los estudios existentes clasifican 311 ecosistemas diferentes y se estiman 37 clases de suelos (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2012).
- Los suelos localizados al este y oeste de las cordilleras (Orinoquia Amazonia y andes Pacífico) conforman casi el 50 % del territorio nacional, mientras que el área desarrollada del país (región andina, llanura del Caribe), que soporta el 80 % de la actividad socioeconómica y política, corresponde a un poco menos del 40 % (Cortés-Lombana, 2004).
- Un 15 % de los suelos está sobreutilizado, un 13 %, subutilizado y aproximadamente 87.000.000 de hectáreas deberían ser declaradas áreas de protección y conservación (IGAC, 2012).
- El uso del suelo, acorde a los datos del Censo Nacional Agropecuario 2014, se presenta en la tabla 20.

¹¹ Colombia hace parte de los nueve países que abarcan el 60 % de la reserva mundial de agua dulce, junto con Brasil, Canadá, China, Congo, India, Indonesia, Rusia y Estados Unidos.

Tabla 20. Datos de uso del suelo

Indicador	%	Área en ha
Área rural dispersa	100	113.008.623,90
Uso agropecuario	33,33	37.669.541,30
Uso agrícola	6,67	7.533.908,26
Cultivos	6,70	7.571.577,80
Área censada	98,90	111.765.529,04
Uso agropecuario total censado	40,60	45.376.804,79
Bosques naturales censado	50,60	56.553.357,69
Nuevo desarrollo urbano censado	0,10	111.765,53
Otros usos censados (infraestructura agropecuaria y otros)	1,50	1.676.482,94
No agropecuario censado	7,20	8.047.118,09
Pastos, % de uso agropecuario	80,40	36.482.951,05
Agrícola, % de uso agropecuario	19,10	8.666.969,71
Infraestructura agropecuaria, % de uso agropecuario	0,50	226.884,02
Cultivos, % uso agrícola	82,00	7.106.915,17
Descanso, % uso agrícola	15,60	1.352.047,28
Barbecho, % uso agrícola	2,40	208.007,27
Transitorios, % cultivos	16	1.137.106,43
Permanentes, % de cultivos	74,80	1.011.331,36
Asociado, % de cultivos	9,20	19.136,67

Fuente: Elaboración propia a partir de DANE (s. f.a)

Clima: frente al cambio climático que acelera la variabilidad climática, se institucionalizó el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), el cual tiene como funciones (Departamento Nacional de Planeación [DNP], s. f.b):

- Formulación de programas y proyectos prioritarios para eventos meteorológicos extremos.
- Incorporar gestión del riesgo agrometeorológico en la planificación del desarrollo sectorial y territorial.
- Disminuir la vulnerabilidad de los sistemas socioeconómicos y ecológicos ante eventos meteorológicos.

- Líneas estratégicas macro: 1) concientizar acerca del cambio climático a través de una política de educación e inclusión cultural; 2) generar información y conocimiento para medir la vulnerabilidad de los socioecosistemas: enfocada a la toma de decisiones, orientación frente a las variables de cambio y diseño de escenarios; 3) planificar el uso del territorio: gestión climática para el desarrollo sustentable; 4) implementar medidas de adaptación y restauración de ecosistemas, y garantizar la provisión de servicios ecosistémicos, tecnologías para reducción de vulnerabilidad de la población y la infraestructura; 5) fortalecer la capacidad de reacción: planes de contingencia ante eventos meteorológicos extremos (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2012).

El Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2015-2018 (Departamento Nacional de Planeación [DNP], s. f.c) establece frente al cambio climático la promoción y el diseño de medidas de adaptación al cambio climático en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), con elementos diferenciales liderados por el MADS y por las autoridades ambientales locales.

Estos elementos confluyen en la mejora de las estrategias de gestión de ecosistemas importantes, la priorización de zonas para temas de posconflicto, reducción de impactos financieros, el fortalecimiento de la infraestructura local y regional frente a los fenómenos de cambio climático, planes sectoriales con iniciativas clave en cambio climático, por ejemplo, la planificación prospectiva de territorio a través de la gestión de la Unidad de Planeación Rural Agropecuaria (UPRA) y el diseño y la implementación de un Sistema de Alertas Agroclimáticas Tempranas (SAAT).

De acuerdo con el Banco Mundial (s. f.), el perfil de Colombia frente al cambio climático se caracteriza por la variabilidad temporal y espacial con diferentes impactos en agricultura, donde la adopción de estrategias de mitigación requiere tecnología, voluntad política, compromiso institucional, desarrollo y soporte financiero, así como el fortalecimiento de capacidades locales.

El 37 % de las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero provienen del sector agrario y el 15 %, de cambios en el uso del suelo y actividad forestal, lo que representa un 51% de las emisiones de todo el país.

Por otro lado, el CIAT propone en sus investigaciones de políticas para el sector agropecuario la necesidad de mecanismos de adaptación acelerados, para evitar escenarios de degradación del suelo y pérdida de materia orgánica en las diferentes regiones del país y en sistemas productivos como el café, el banano y la palma de aceite. Asimismo, establecer mecanismos de choque frente a las proyecciones en el aumento del área de afectación actual del 60 % al 80 %; minimizar el impacto en los productores de escasos recursos y de pequeña escala, previsión y mitigación en las regiones o cultivos que experimenten aumentos de temperatura superiores a los 2,5°C y, finalmente, estrategias frente a las dinámicas variantes en precipitaciones erráticas, plagas y enfermedades, ganado, estrés hídrico y aumento de la temperatura (Lau, Jarvis, & Ramírez, s. f.).

Por su parte, el Fondo Verde del Clima (Cruz Martínez, 2017), en su iniciativa de trabajo desde el DNP, establece como estrategia país lineamientos en:

- Estructuración para financiar proyectos de cambio climático bajo esquemas de articulación público-privada.
- Contar con entidades que conozcan y mitiguen las brechas de acceso a recursos.
- Alineación de priorización de proyectos con el PNACC, la estrategia colombiana de desarrollo bajo en carbono, estrategia nacional para la reducción de emisiones debidas a la deforestación y degradación evitada por bosques, y la estrategia de protección financiera contra desastres.

El informe final de la misión rural (DNP, 2015) establece la recuperación y el mantenimiento de los ecosistemas y sus funciones, a partir del ordenamiento de la producción rural sostenible de productos básicos combinados, con aprovechamiento de la biodiversidad nativa y de sus servicios ecosistémicos, y la preservación del patrimonio biodiverso en materia de aguas, suelos, fauna, riqueza forestal, la expansión de la frontera agraria y la deforestación, y así da prelación al hecho de conservar y potenciar los servicios ecosistémicos.

De igual manera, el informe fija la gestión de la capacidad adaptativa, a través del SAAT, participativos e interactivos, direccionados a través de planes de contingencia para los sistemas agrícolas, pecuarios, pesqueros y forestales priorizados. Esto teniendo como punto de partida proyectos piloto de construcción de territorios rurales resilientes frente al cambio climático, e integrando actividades de generación, transferencia y apropiación, con el soporte de la asistencia técnica rural integral.

Agroecosistemas: en el enfoque de política del MADS (2012) se propone generar: “(...)una gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (GIBSE), donde se planifican, ejecutan y monitorean las acciones para la conservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, en un escenario social y territorial definido y en diferentes estados de conservación” (p. 37).

En un escenario de sobreexplotación, de introducción de organismos vivos modificados (OVM), de pérdidas de diversidad genética y variedades, de cambios en el uso del territorio, contaminación, toxicación y cambio climático, es necesario considerar un plan estratégico que promueva acciones *ex ante* y *ex post*, para la mitigación y adaptación al cambio climático a escalas adecuadas, y así impactar en la reducción del riesgo y en la transformación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos (MADS, 2012).

En este sentido, la política nacional Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (GIBSE) propone la generación de líneas estratégicas en ejes temáticos. Los siguientes son los más relacionados con el sector agropecuario:

- Conservación y cuidado de la naturaleza, a partir de actividades de recuperación, protección y conservación de la biodiversidad vegetal, animal y de microorganismos, bajo esquemas *in situ* y *ex situ* con enfoque de seguridad alimentaria, adaptación al cambio ambiental, desarrollo económico y calidad de vida.
- Incorporación y mantenimiento de sistemas de provisión y conservación de servicios ecosistémicos (MADS, 2012).

El desarrollo de la plataforma agroclimática para el sector agropecuario se considera una prioridad nacional y una necesidad para la mitigación de los efectos esperados del cambio climático y la variabilidad climática extrema. En documentos como *Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2010-2014 Prosperidad para Todos* (Departamento Nacional de Planeación [DNP], s. f.a), *Estrategia institucional para la articulación de políticas y acciones en materia de cambio climático en Colombia* (Conpes 3700), *Estrategia de adaptación del sector agropecuario a fenómenos climáticos* y *Estrategia institucional y financiera de la red hidrológica, meteorológica y oceanográfica del país* (documentos en formulación) se presentan elementos que guían el quehacer institucional en materia de gestión de información agroclimatológica, y se reconoce la importancia y el rol principal que debe asumir AGROSAVIA frente a los retos que tiene que afrontar el país en esta materia.

Finalmente, en el contexto del sector agropecuario, las orientaciones para la megatendencia se diversifican en cuatro grandes áreas: clima, suelo, agua y agroecosistemas; en este último confluye el accionar de la CTi.

Orientaciones en el contexto internacional

La sostenibilidad ambiental en el contexto mundial tiene relación directa con el aumento de la población, de la demanda por alimentos, agua, materias primas y otros componentes relacionados de manera directa con la oferta ambiental. Estos han hecho que las dinámicas de patrones de desarrollo sean una incidencia negativa en los niveles de respuesta del entorno ambiental, lo cual disminuye las capacidades de respuesta naturales de servicios naturales de regeneración y depuración (servicios ecosistémicos) (MAVDT, 2007).

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) evaluó las problemáticas principales en relación con la oferta y demanda de servicios ecosistémicos, respecto a las dinámicas de los sistemas de producción, y así delimitó tres ejes clave de acción:

- Degradación de servicios ecosistémicos ocasionada por factores de uso no sostenible como inclusión de agua dulce, pesca captura, purificación de aire, regulación del clima regional y local, riesgos naturales, extracción intensiva de alimentos.
- Cambios no lineales (acelerados, abruptos e irreversibles) por uso no sostenible, como alteraciones en la calidad del agua, cambios climáticos regionales y especies invasoras.
- Desigualdad y disparidad en grupos poblacionales, lo que incide en los niveles de pobreza por mala gestión de los servicios ecosistémicos.

Estas problemáticas permiten analizar de qué manera los esfuerzos en CTi deben focalizarse en alternativas de manejo de los sistemas ecológicos, agroecosistemas y socioecosistemas, diagnósticos robustos de su estado actual, modelos predictivos de su evolución, evaluaciones socioeconómicas, modelos de producción de uso sostenible, gestión de recursos y tendencias de investigación adaptativa.

Todos estos aspectos de sostenibilidad ambiental confluyen en el escenario actual de cambio climático; además, implican un marco normativo, político, económico y de investigación enfocado en la “adaptación” de los ecosistemas productivos. En la tabla 21, se presentan los costos estimados de adaptación a escala global.

Tabla 21. Costos estimados de adaptación al cambio climático

Entidad que desarrolla el análisis	Costos de adaptación anuales	Contexto de análisis	Sectores de aplicación	Fuentes de financiación
Banco Mundial	De US\$9.000 a US\$41.000 millones por año.	Países en desarrollo.	Sectores considerados "sensibles al clima".	AOD, IED e IBI.
Informe Stern	De US\$9.000 a US\$37.000 millones por año.	Países en desarrollo.	Sectores considerados "sensibles al clima".	AOD, IED e IBI.
OXFAM	US\$50.000 millones por año.	Países en desarrollo.	Sectores considerados "sensibles al clima".	AOD, IED e IBI.
PNUD	De US\$86.000 a US\$109.000 millones por año.	Países en desarrollo.	Sectores considerados "sensibles al clima".	AOD, IED e IBI.
Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático	De US\$28.000 a US\$67.000 millones por año.	Países en desarrollo.	Agricultura, silvicultura y pesca, recursos hídricos, salud humana, zonas costeras e infraestructura.	0,06 % al 0,21 % del producto interno bruto proyectado para 2030.
Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático	De US\$44.000 a US\$166.000 millones por año.	Global.	Agricultura, silvicultura y pesca, recursos hídricos, salud humana, zonas costeras e infraestructura.	

AOD: Asistencia Oficial para el Desarrollo; IED: Inversión Extranjera Directa; IBI: Inversión Bruta Interna.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Samaniego (2009)

Agua: la ONU, en su cumbre sobre el desarrollo sostenible 2015, llevada a cabo en septiembre, estableció los 17 objetivos de desarrollo sostenible, entre los cuales están:

- Agua limpia y saneamiento.
- Energía asequible y no contaminante.
- Producción y consumo responsables.
- Acción por el clima.
- Vida de ecosistemas terrestres.
- Vida submarina.

Específicamente, con el objetivo de agua limpia y saneamiento se busca garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible, y el saneamiento para todos. Las principales problemáticas relacionadas son: 1) 884 millones de personas sin acceso a agua potable; 2) 19 % de la electricidad en el mundo proviene de fuentes hidráulicas; 3) 70 % del agua disponible se utiliza para regadío. En cuanto a las metas, para 2030 se busca lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible; mejorar la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación, la eliminación del vertimiento y la reducción al mínimo de la descarga de materiales y productos químicos peligrosos; proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos bosques, montañas, humedales, ríos, acuíferos y lagos.

La adaptación específica para el sector agroindustrial¹² debe tener una orientación bien focalizada, principalmente por la dependencia en la cantidad y distribución de las precipitaciones, la población vinculada económicamente al sector y los mecanismos de suministro de agua (distritos de riego). Acorde con la FAO (2011b), la gestión del recurso hídrico en el sector agropecuario debe enfocarse en lineamientos clave, como:

- Estudios del potencial de expansión de áreas irrigadas y distritos de riego, teniendo en cuenta el acceso a fuentes hídricas disponibles, consideraciones técnicas, económicas y ambientales y geográficas.
- Incremento de las áreas de irrigación en las diferentes regiones, confirme al potencial específico de estas, y así convertir áreas exclusivas de manejo de precipitaciones.
- Uso de fuentes no convencionales de agua, como aguas tratadas provenientes de fuentes contaminadas y agua desalinizada.

¹² Abarcando las actividades agrícolas, pecuarias, forestales, acuícolas y pesqueras.

- Mantenimiento, según necesidades de cada territorio, de la agricultura basada en precipitaciones, la cual actualmente ocupa cerca del 60% en los países en desarrollo.
- Integración del manejo del recurso hídrico en el sector agropecuario, en los procesos de planeación macroeconómica.
- Políticas en sistemas de ubicación y protección de los derechos de la tierra y el agua; protección de zonas vulnerables, promoción de agencias específicas para la gestión del recurso hídrico, agencia de gestión para la irrigación de cultivos.
- Mecanismos de inversión para fomentar el uso del recurso hídrico con infraestructura especializada.
- Impulso de la cooperación para la gestión del recurso hídrico.

Gutiérrez y Espinosa (2010) proponen medidas específicas para el sector agroindustrial, que se enfocan en aspectos como el manejo del recurso hídrico: infraestructura y diseños para la recolección de aguas lluvia, almacenamientos y recolección de agua en reservorios *in situ* y *ex situ*, reutilización del agua, tecnologías de desalinización, eficiencia en el uso, irrigación, distritos de riego, etc., y el apalancamiento desde políticas de uso sostenible del agua, gestión integrada de recursos hídricos, gestión de fenómenos relacionados con el agua.

Suelo: provee bienes y servicios de vital importancia para el bienestar de las poblaciones y el ambiente (Blum, 2005); asimismo, está sujeto a problemáticas específicas en su sostenibilidad (Blum, 2008) (tabla 22).

Tabla 22. Servicios y problemáticas del recurso suelo en la sostenibilidad ambiental

Servicios	Problemáticas
• Producción de biomasa a través de la actividad agrícola y forestal. • Protección de aguas subterráneas y de la cadena alimenticia contra la contaminación y el mantenimiento de la biodiversidad, a través de actividades de filtración, amortiguación y transformación. • Preservación de la reserva genética. • Provisión de bases físicas para el desarrollo de infraestructura.	• Sellamiento de suelos por actividades de urbanización e industrialización • Erosión por actividades agrícolas. • Disminución en el contenido de materia orgánica de suelos. • Contaminación de suelos. • Disminución de la biodiversidad de los suelos. • Compactación de suelos.

(Continúa)

(Continuación tabla 22)

Servicios	Problemáticas
• Fuente de materias primas para el desarrollo de infraestructura. • Preservación de patrimonio cultural y geogenia.	• Salinización de suelos. • Deslizamientos de tierras e inundaciones. • Agotamiento de los nutrientes del suelo. • Desertificación.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Blum (2005, 2008)

Gutiérrez y Espinosa (2010) plantean medidas concretas para el sector agroindustrial, que se concentran en aspectos del manejo de suelos: modificación de las fechas de siembra, variedades de cultivo, rotación de cultivos, vocación y uso adecuado del suelo, reubicación de cultivos, zonas específicas para actividad pecuaria, agroforestería, recuperación de suelos, gestión integrada de tierras; de igual forma, promoción de políticas de I+D+i, reformas institucionales, tenencia y reforma de la tierra, creación y fortalecimiento de capacidad, aseguramiento de unidades de producción e incentivos al correcto uso del suelo.

Clima: el BID, en su estudio de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático (Gutiérrez & Espinosa, 2010), establece para la región de América Latina y el Caribe aspectos generales para el desarrollo de iniciativas concretas de contingencia: 1) generación de datos en costos e inversión para adaptación a diferentes escalas y sistemas de información nacionales y regionales para gestionar la información; 2) riesgo de cambio climático como política transversal de apropiación en los diferentes sectores productivos; 3) participación del sector privado en investigación, inversión y promoción; 4) difusión del conocimiento para la promoción de alternativas tradicionales y tecnificadas; 5) diseño y desarrollo de proyectos de incidencia local para la adaptación de sectores sensibles, y 6) fortalecimiento de las capacidades de actores involucrados.

Específicamente, en el sector agroindustrial, es necesaria la promoción de investigaciones enfocadas en cambios de productividad, prácticas de adaptación a las dinámicas regionales, estrategias de adaptación enfocadas en comunidades y cadenas productivas, cambios en la oferta y demanda hídrica, cambios en el uso del suelo, conservación de ecosistemas y agroecosistemas, gestión de riesgos, entre otros.

El objetivo 13 de la cumbre de la ONU sobre el desarrollo sostenible busca adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos, y para esto presenta metas afines a este propósito:

- Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países.
- Promover en los programas de educación a todo nivel el componente de educación ambiental.
- Reducir los gastos de consumo a nivel mundial, entre el 1 % y el 4 % para 2030 y entre el 2 % y el 6 % para 2050.
- Mantener el aumento de la temperatura global en menos de 2 °C mediante la reducción de las emisiones de gases contaminantes.
- Designación de recursos y transferencia de tecnología para apoyar proyectos de desarrollo sostenible en los países de renta baja y media.
- Fortalecimiento del Fondo Verde para el Clima, cuyo objetivo es contar con al menos 10.000 millones de dólares.
- Contribuir al objetivo global de cambio climático para la movilización de recursos financieros y fortalecer el Fondo Verde para el Clima.
- Promover mecanismos de fortalecimiento y vinculación de la población con enfoque diferencial, en particular de las mujeres, los jóvenes y las comunidades locales y marginadas.

En la pasada cumbre mundial sobre el cambio climático, celebrada en París en diciembre de 2015, se establecieron acuerdos clave para “atajar” el calentamiento desencadenado por el hombre con sus emisiones de gases de efecto invernadero. Algunos aspectos importantes de dichos acuerdos se mencionan a continuación:

- Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y seguir esforzándose por limitar el aumento de la temperatura a 1,5 °C.
- Contabilizar las emisiones y absorciones antropógenas, de conformidad con las metodologías y los sistemas de medición comunes evaluados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Rendir cuentas de sus contribuciones determinadas a nivel nacional. Al rendir cuentas de las emisiones y la absorción antropógenas correspondientes a sus contribuciones determinadas a nivel nacional, las partes promoverán la integridad ambiental, la transparencia, la exactitud, la exhaustividad, la comparabilidad y la coherencia.
- Formular y comunicar estrategias a largo plazo para un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero.

- Promover la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero, y al mismo tiempo fomentar el desarrollo sostenible.
- Garantizar la integridad de todos los ecosistemas—incluidos los océanos—y la protección de la biodiversidad, reconocida por algunas culturas como la Madre Tierra; también observar la importancia que tiene para algunos el concepto de *justicia climática*, al adoptar medidas para hacer frente al cambio climático.
- Medidas de reducción de las emisiones responsables del calentamiento del 100 % del planeta y no solo las de los países desarrollados. La agricultura, la deforestación y los usos del suelo (responsables del 24 % de las emisiones globales) juegan un papel fundamental en las políticas globales de mitigación, pero en Kioto no tuvieron un capítulo específico. Cien países tienen medidas de mitigación en este sector.
- Movilizar 5.000 millones de dólares en los próximos cinco años si los países con más masa forestal aplican medidas de conservación verificables y medibles.

Agroecosistemas: a nivel internacional, el monitoreo agrometeorológico ha sido muy importante desde hace varios años, especialmente en países desarrollados como Estados Unidos, Austria, Holanda, Alemania, Inglaterra y Portugal, que lideran el uso de esta tecnología. En muchos de esos países, no solo son las instituciones de investigación, o entidades estatales, las que reconocen la importancia del monitoreo agrometeorológico, también lo hacen los productores y sus asociaciones.

En países centroamericanos se han realizado en los últimos años fuertes inversiones en redes agrometeorológicas, que permiten reducir el uso de fertilizantes y aplicaciones fitosanitarias en cultivos como banano, piña y caña de azúcar. México cuenta con Agroclima (red nacional de estaciones estatales agroclimatológicas). La información y los productos agroclimáticos se dan por Estado, estación meteorológica, cultivo y fecha. En el nivel local se realizan pronósticos meteorológicos y predicciones climáticas. La Red Nacional de Estaciones agroclimáticas se estableció a través de una alianza interinstitucional entre la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa), el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y las fundaciones de acción por el clima de los Estados.

Argentina trabaja desde hace varios años en el tema; hay un gran número de estaciones, modelos fenológicos y personas trabajando con apoyo total del Gobierno. Chile, por su parte, cuenta con 20 años de experiencia y una red agrometeorológica interinstitucional entre MinAgricultura y el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), con más de 150 estaciones de primer nivel, plataforma, sistemas de alerta temprana y otros avances.

En el caso específico de Embrapa, en Brasil, hacen un análisis económico de Agritempo (s. f.), sistema compuesto por una red agrometeorológica que incorpora más de 900 estaciones y un sistema de gestión de la información de consulta web.

Tendencias en I+D+i en el contexto nacional e internacional

El análisis de la divulgación de resultados de investigación, a través de publicaciones científicas indexadas, permite identificar tendencias de investigación en diferentes áreas temáticas, así como aquellos tópicos que generan mayor interés en los diferentes actores relacionados. En 2014, en la temática de agricultura dentro del top 25 de artículos descargados destacan en la megatendencia de sostenibilidad ambiental los siguientes:

- “A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests”: relacionado con los temas de sostenibilidad de áreas protegidas frente al cambio climático.
- “Biochar effects on soil biota - A review”: efectos en la biota del suelo por adición de enmiendas de carbono biológico.
- “Soil carbon sequestration to mitigate climate change”: secuestro de carbón como alternativa para mitigar el cambio climático.
- “Soil enzymes in a changing environment: Current knowledge and future directions”: enzimas del suelo como factor en cambios ambientales y ecosistémicos.
- “Water scarcity: ¿Fact or fiction?”: estudios sobre el manejo del recurso hídrico y su estado actual.
- “Conservation agriculture and ecosystem services: An overview”: la agricultura de conservación o sostenible como alternativa de producción de servicios ecosistémicos

- “Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems”: estudios de impacto, adaptación y vulnerabilidad de ecosistemas de bosques frente al cambio climático.

Estos artículos integran los cuatro ejes desarrollados en esta megatendencia: suelo, agua, cambio climático y agroecosistemas, lo que genera una línea de articulación entre las orientaciones desde la institucionalidad y los esfuerzo en las actividades de I+D+i.

Contexto internacional

La sostenibilidad ambiental ha direccionado la investigación hacia campos como el uso sostenible de recursos genéticos de zonas estratégicas a nivel mundial (por ejemplo, cuenca amazónica), la recuperación de áreas degradadas y la gestión sostenible de los recursos naturales, renovables y no renovables. Además, el diseño y uso de plataformas tecnológicas se hicieron en las cadenas de producción de cacao, café, palma de aceite, acuicultura y producción animal, agrícola, forestal y sistemas de ganadería integrada. Varias redes se ponen en funcionamiento, en particular las relativas a la agroenergía, el cacao, el café y los recursos filogenéticos, las tecnologías para la producción, la transformación y la comercialización de las energías renovables a través de la introducción de los recursos naturales, de la promoción de organizaciones locales, zonas agroecológicas, agricultura tropical, etc.

En la figura 10, se presenta la dinámica de publicaciones en relación con la sostenibilidad ambiental para el área de agricultura y ciencias biológicas, que a 2017 registró 74.799 publicaciones. Los países líderes son Estados Unidos, China, Reino Unido, Australia y Alemania en el contexto mundial, con entidades representativas como la Universidad de Wageningen, la Academia China de Ciencias, la Universidad de la Florida, la UC-Davis y el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés). En el contexto de América Latina y el Caribe, Brasil, México y Argentina lideran la investigación con 26.981, 8.113 y 6.157 publicaciones, respectivamente.

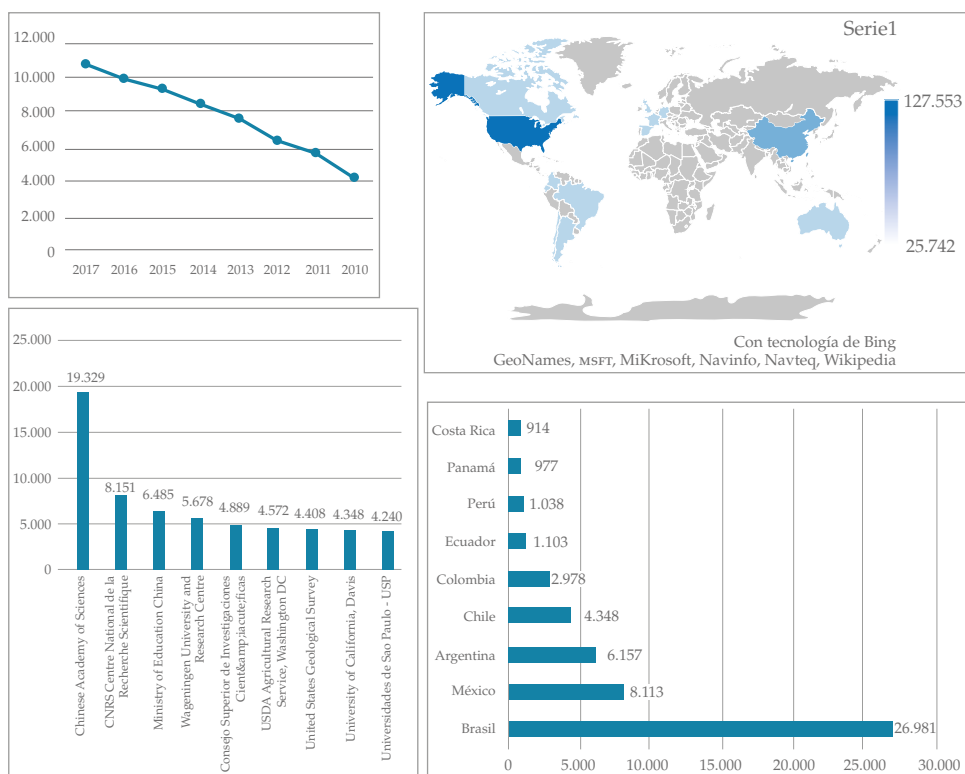


Figura 10. Sostenibilidad ambiental como megatendencia en investigación en agricultura y ciencias biológicas. Publicaciones científicas 2010-2017.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Scopus (s. f.)

Las temáticas tendenciales específicas en sostenibilidad ambiental para el sector agropecuario se enfocan en modelos de cálculo de la disponibilidad de agua, investigaciones en huella hídrica, huella de carbono como indicadores de los sistemas de producción pecuarios, eficiencia ambiental, índices de sostenibilidad, sostenibilidad ambiental basada en el mapeo del uso de la tierra, análisis del ciclo de vida en cultivos de *commodities*, sistemas de bosques, silvopastoriles y producción forestal. Las temáticas de base son tecnologías para el tratamiento de biomasa lignocelulósica, biorremediación de efluentes, contribución de la biomasa en el suministro energético global y sistemas de ecoservicios ambientales para la toma de decisiones. Algunas temáticas emergentes son cambios en el diseño de políticas para la sostenibilidad ambiental enfocadas en conservación y turismo ecológico, esquemas agroambientales desde la perspectiva de los actores involucrados,

tratamiento de suelos usando biopolímeros microbiales y efectos del cambio climático y el uso del suelo en sus contenidos de materia orgánica. Específicamente, para el contexto de agroecosistemas, la investigación a nivel mundial ha presentado un crecimiento importante, asociado a la focalización de esfuerzos y recursos en temas de cambio climático y sostenibilidad. En la figura 11 se presenta el estado actual de la investigación en temas de agroecosistemas, agricultura ecológica, sistemas agroecológicos, agricultura de conservación, sistemas agrícolas resilientes, agricultura sustentable y servicios ecosistémicos en agricultura.

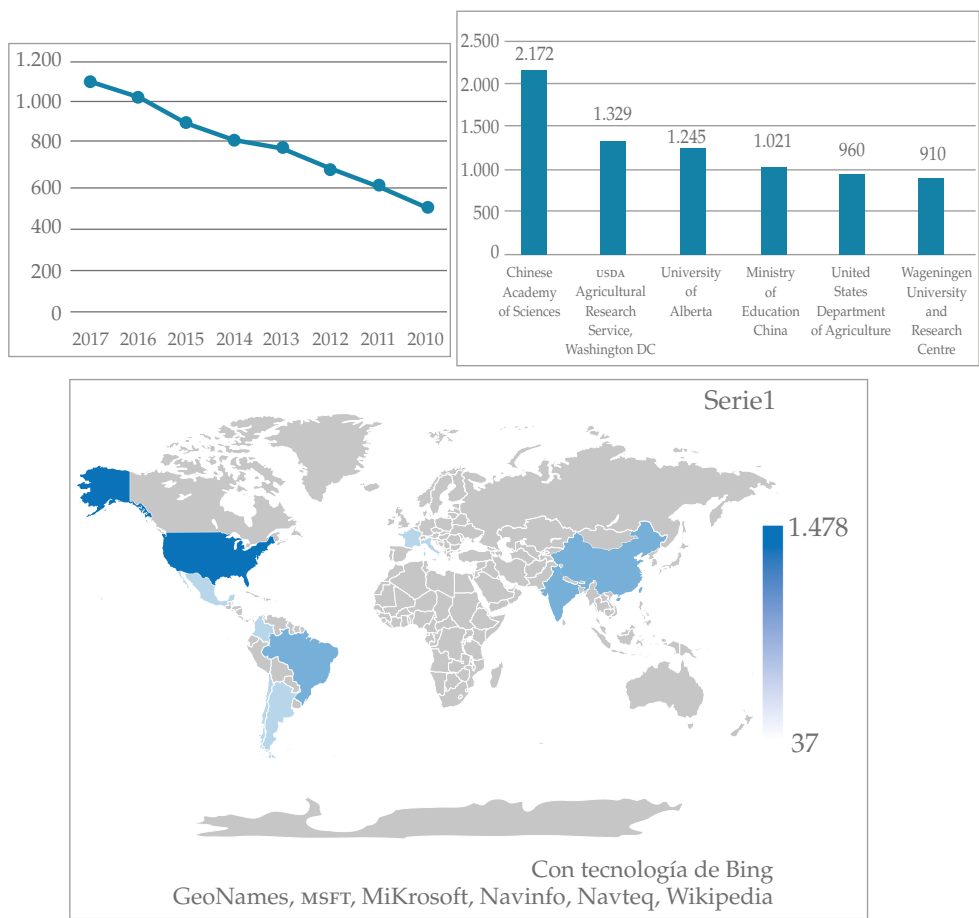


Figura 11. Investigación en agroecosistemas en el mundo 2000-2015.
Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Scopus (s. f.)

Los tópicos emergentes de investigación en estas áreas son: suelos para almacenamiento de carbono en agricultura de conservación, fertilización de nitrógeno en agroecosistemas, control específico de plagas en escenarios de cambio climático, agroecosistemas y conservación de la fauna; análisis de propiedades físicas del suelo, rendimientos y economía de cultivos basados en agricultura de conservación, agricultura de conservación a corto plazo, influencia de organismos modificados genéticamente en agroecosistemas, sistemas de irrigación de agua y prácticas en agricultura de conservación, manejo integrado de sistemas de agricultura de conservación, uso de suelos y aguas en agricultura de conservación, efecto de la agricultura de conservación en el manejo de plagas y enfermedades, medición de impacto de prácticas de sostenibilidad en sistemas agrícolas, impacto de sistemas de agroforestería en la distribución de materia orgánica y carbono en el suelo, dinámica de malezas en agricultura de conservación, uso de la tierra e impactos de variabilidad ambiental en agroecosistemas.

Los tópicos de base en investigación en estas áreas son: agricultura sustentable a través de prácticas de producción intensiva, perspectivas de paisaje en la unión de intensificación agrícola y biodiversidad, manejo de hábitats para conservación de controladores naturales de plagas, fertilidad del suelo y biodiversidad en agricultura orgánica, estudios de beneficios de la agricultura orgánica a la biodiversidad, demanda global de alimentos y sostenibilidad de la intensificación agrícola; manejo y eficiencia del nitrógeno en agroecosistemas, trazabilidad de elementos e impacto ambiental en agroecosistemas, invertebrados del suelo y servicios agroecosistémicos, rol de las malezas en cuanto a soportar la biodiversidad en cultivos, respuesta agroecosistémica a combinaciones elevadas de CO₂, ozono y cambio climático. Servicios ecosistémicos e invertebrados, impacto en el uso del suelo en la diversidad de hongos, sinergias y funcionalidad, biodiversidad y biocontrol en agroecosistemas, micorrizas como agentes de control, agroecología como alternativa para entornos con bajos recursos económicos, rol de la agricultura de conservación en la sostenibilidad de los cultivos de interés, patógenos de plantas en agroecosistemas, bioconservación en sistemas tropicales. Saturación de suelos con carbono, diversidad y dinámica de comunidades de microorganismos, micorrizas arbusculares en servicios ecosistémicos, análisis de calidad de suelos, biota del suelo y productividad, rol del mapeo climático en la predicción geográfica de distribución de pestes, diversidad funcional de insectos y aves en agroecosistemas tropicales, niveles y efectividad del

secuestro de carbono en cultivos, manejo de microorganismos del suelo para la productividad de agroecosistemas, respuesta natural de cultivos a pestes en función de la complejidad del paisaje, creación de espacios para sistemas agroalimentarios sostenibles, control biológico de malezas, manejo de nutrientes en agroecosistemas, estimulación del secuestro de carbono y nitrógeno, a través de prácticas de no-labranza; rotación de cultivos anuales, manejo de agua en relación con servicios ecosistémicos, encadenamientos productivos para la biodiversidad y la seguridad alimentaria, definición de metas de cruzamiento para sistemas sostenibles pecuarios, mejoramiento genético enfocado en tolerancia al estrés abiótico, estrategias para el manejo de agua lluvia en agricultura de conservación.

Los tópicos más investigados son: transición de sistemas tradicionales a sistemas agroecológicos, indicadores de seguimiento de sistemas agroforestales, adopción de agricultura de no-labranza, multifuncionalidad de servicios ecosistémicos en agricultura de conservación, estudios socioeconómicos de la migración a sistemas de conservación en agricultura, acumulación de nitrógeno, agroforestería como estrategia para mitigación del cambio climático, fertilidad del suelo y eficiencia económica, labranza y ecología del suelo, labranza de conservación en agroecosistemas, agrometereología y seguimiento *in situ*, manejo de residuos de labranza en agroecosistemas, modelamiento y escalamiento del manejo de aguas y suelos en sistemas agroecológicos, indicadores de calidad de los suelos en sistemas de agricultura sustentable. Integración de conocimiento local y científico en agricultura ecológica, diseño de sistemas de cultivo agroecológicos, mapeo conceptual y análisis de perspectivas de agricultura sustentable desde el productor, estabilidad estructural del suelo y erosión, integración de agroecosistemas a turismo, análisis ambiental de agroecosistemas, provisión de servicios ecosistémicos, diseño de buenas prácticas de manejo en cultivos bajo la modalidad de agricultura sustentable, integración de sistemas de cultivo agroecológico en investigación y análisis de malezas en paisajes agrícolas.

Contexto nacional

En la tabla 23 se presenta el panorama actual de la investigación científica internacional generada en Colombia para sostenibilidad ambiental.

Tabla 23. Sostenibilidad ambiental como megatendencia de investigación en el sector agropecuario de Colombia

Criterio	Datos	
Número de publicaciones	Total, megatendencia: 2.826. Área de agricultura y ciencias agropecuarias: 646.	
Organizaciones líderes en la megatendencia de agricultura y ciencias biológicas	• Universidad Nacional de Colombia. • Centro Internacional de Agricultura Tropical. • Pontificia Universidad Javeriana. • Universidad del Valle. • Universidad de Antioquia. • Universidad de los Andes.	
Países y organizaciones aliadas en investigación	• Estados Unidos. • Reino Unido. • Brasil. • Francia. • Australia. • España.	• Smithsonian Tropical Research Institute. • Universidad Nacional Autónoma de México. • Bioversity International. • University of Leeds. • University of Florida. • Tosoly. • University of Queensland.
Tópicos tendenciales	• Energía y huella de carbono en la producción de etanol a partir de banana. • Impactos del cambio climático en bosques tropicales. • Servicios ambientales para sistemas silvopastoriles. • Sistemas ecológicos clave, paramos, cultivos de palma, análisis de la huella ambiental del cultivo de palma, gases de efecto invernadero en la cadena productiva láctea y de carne bovina, estudios de escalamiento intensivo de sistemas silvopastoriles • Factores críticos de las buenas prácticas agrícolas y su implementación por parte de pequeños productores. • Impactos del cambio climático en bosques tropicales, indicadores de la calidad del suelo, influencia del pago por servicios ambientales y otras variables biofísicas y socioeconómicas en la adopción de sistemas silvopastoriles a nivel de finca. • La producción ganadera eficiente sostenible con alta biodiversidad y bienestar de los animales.	

(Continúa)

Criterio	Datos
Tópicos tendenciales	• Patrones regionales del uso de la tierra, agricultura y deforestación, causas e impactos en los agroecosistemas de la productividad y la seguridad alimentaria con énfasis en yuca, ventaja comparativa en las zonas tropicales/subtropicales. • Secuestro de carbono, huella de carbono, huella hídrica en ecosistemas y sistemas agrícolas. • Beneficios y limitaciones de la biofertilización.
Tópicos de base	• Secuestro de carbono en ecosistemas, producción de etanol, biodiversidad en sitios clave de conservación, biodiversidad en bosques tropicales, variación de la calidad y compactación del suelo en áreas de pastura, inventarios de carbono en ecosistemas tropicales, conocimiento local como factor clave de la gestión de suelos y recuperación de la fertilidad de suelos.
Tópicos emergentes	• Conservación <i>ex situ</i> de materiales primordiales, supresión de la nitrificación de plantas, impactos de la expansión del cultivo de palma, sistemas de servicios nacionales ecológicos para la gestión de suelos y aguas en agricultura. • Directrices para el posconflicto, identidad estructural de sistemas ecológicos. • Reducción de las emisiones de metano en la cadena bovina a partir de complementos microbiológicos en el ganado. • Evaluación ambiental de cuencas prioritarias. • Sistemas silvopastoriles intensivos (SSPI), herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático. • Análisis de beneficios socioambientales por la implementación de estrategias de producción más limpias en el sector agropecuario. • Selección de sistemas agroambientales con potencial uso de compost de biorresiduos municipales. • Fijación de carbono y porcentaje de sombra en sistemas de producción de café. • Caracterización de sistemas de producción.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Scopus (s. f.)

Uno de los enfoques de sostenibilidad en el sector agropecuario es la conformación de agroecosistemas y agroecología. En el ámbito mundial los tópicos emergentes de investigación en estas áreas son: agroecosistemas y conservación de fauna, exclusión de macrofauna de cultivos, calidad del suelo y rendimientos agrícolas, sistemas resilientes desde agroecología como respuesta al cambio climático; uso del agua, energía y huella de carbono en cultivos de interés comercial, agricultura sostenible en regiones mineras, evaluación de agroquímicos y bioinsumos para el manejo sostenible en cultivos de interés comercial, socioecología y resiliencia de agroecosistemas, minimización del impacto en la biodiversidad ocasionado por cultivos de interés comercial, servicios ecosistémicos de regulación y soporte en la región del Amazonas, abonos verdes y su influencia en la dinámica de nitrógeno en los cultivos, calentamiento global, impacto en la productividad y seguridad alimentaria de agroecosistemas, hormigas como indicadores de servicios ecosistémicos del suelo, optimización de almacenamiento de carbono y protección de la biodiversidad. Impacto de los cultivos orgánicos en la diversidad de insectos, agroecosistemas de palma de aceite, estrategias de manejo agroecológico en cultivos de café, caracterización de micorrizas y grupos de microorganismos en agroecosistemas

Los tópicos de base en investigación en estas áreas son: fijación de nitrógeno en cultivos de maíz, biota del suelo como factor de biodiversidad y servicios ecosistémicos, pérdida de biodiversidad en paisajes agrícolas, beneficio de la biodiversidad en agricultura, nutrientes en sistemas de agricultura de conservación, análisis microsatelital de la diversidad genética en agroecosistemas, evaluación de la calidad del suelo en zonas tropicales, recuperación de la fertilidad del suelo con agricultura de conservación, nitrificación biológica como alternativa de regulación, índices de calidad del suelo basado en la biota, secuestro de carbonos en pasturas, sistemas silvopastoriles y bosques, servicios ecosistémicos y seguridad alimentaria, pérdida de suelos y nutrientes en sistemas de páramo, uso del suelo.

Los tópicos más investigados son: biota del suelo, servicios ecosistémicos y productividad del suelo, implicaciones del cambio climático en la agricultura, impacto ambiental, agricultura de conservación, contribución de invertebrados a la sostenibilidad de sistemas de cultivo y la seguridad alimentaria, efectos del cambio del paisaje en fauna y flora de agroecosistemas, diversidad de micorrizas, vulnerabilidad de sistemas agrícolas y pecuarios

al cambio climático, relación entre la biota y los atributos químicos del suelo y evolución de la estructura agraria y la transformación socioproductiva.

A nivel nacional, se encuentran diferentes actores que cuentan con redes de estaciones agrometeorológicas como el Ideam, el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé), Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña), AGROSAVIA, Centro de Innovación de la Floricultura Colombiana (Ceniflores), Fedearroz, corporaciones autónomas regionales (CAR), corporaciones de pequeños productores, el acueducto de Popayán, el CIAT, Fedepalma, Conalgodón, entre otros, en algunas ocasiones apoyados por políticas públicas y financiados por el MADR y el DNP.

El Ideam dispone de una red meteorológica de 1994 estaciones (12% automáticas y 3% agroclimáticas) y, en su página web, publica boletines agrometeorológicos semanalmente a nivel nacional y regional para algunos cultivos específicos. Cenicafe cuenta con 186 estaciones convencionales y alrededor de 100 estaciones automáticas que se pueden consultar en su página web: <http://agroclima.cenicafe.org/resumen-diarios>. Por su parte, AGROSAVIA cuenta en la actualidad con 15 estaciones meteorológicas automáticas en línea en diferentes departamentos priorizados por el proyecto MAPA, el cual busca mejorar la gestión de la información agroclimática, identificar zonas de menor riesgo agroclimático en los municipios y cultivos priorizados e integrar tecnologías que permitan reducir la vulnerabilidad al clima.

Se han desarrollado diferentes proyectos piloto para la comunicación, la difusión y el análisis de la información agroclimática, para que los asistentes técnicos, productores, comunidades campesinas e indígenas utilicen esta información para la toma de decisiones de sus diferentes actividades.

Los principales autores que demandan información agroclimática en Colombia son los gremios de productores agrícolas y ganaderos, los técnicos, pequeños productores, campesinos, indígenas, sector académico, aseguradoras/reaseguradoras y entidades gubernamentales.

Capacidades nacionales en sostenibilidad ambiental, variabilidad y cambio climático

De los 1.132 grupos de investigación registrados en la plataforma Scienti de Colciencias (s. f.c), se identifican 857 afines al sector agropecuario y agroindustrial. En la figura 12, se presenta la distribución de estos grupos de investigación por los programas nacionales de CTi formalizados en Colciencias, las principales entidades de investigación y el total de investigadores en la megatendencia de sostenibilidad ambiental, variabilidad y cambio climático. Se cuenta con 72 grupos de investigación afines a la megatendencia.

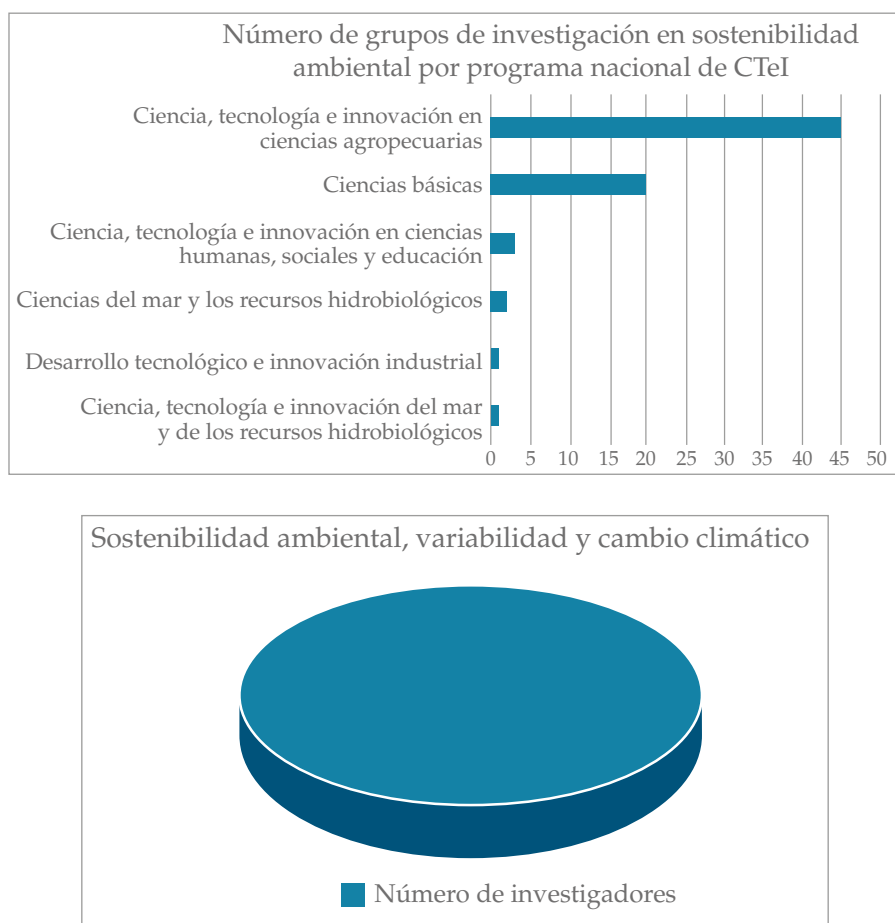


Figura 12. Capacidades nacionales en la megatendencias de sostenibilidad ambiental, variabilidad y cambio climático.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Colciencias (s. f.a)

Las principales organizaciones con mayor número de grupos de investigación relacionados con agroenergías son la Universidad Nacional de Colombia, con 13, y la Universidad de los Llanos, con 3.

Actores nacionales en sostenibilidad ambiental, variabilidad y cambio climático

Frente a la temática de sostenibilidad ambiental, existen de manera específica actores estratégicos que promueven acciones en este campo de manera general. Antes de desarrollar el mapeo de actores estratégicos, es necesario mencionar el marco general de *stakeholders* que se consideran a nivel mundial.

- Ministerios de medio ambiente y oficinas de cambio climático: coordinar e impulsar las agendas nacionales de sostenibilidad y adaptación frente al cambio climático; apoyar y aprobar proyectos de mitigación, participación en las negociaciones internacionales frente a este tema, desarrollo de políticas, etc.
- Actores en la gestión de riesgos: instituciones y dependencias técnicas dedicadas a la recolección y sistematización de información, implementación de sistemas de alertas tempranas, coordinación y manejo de emergencias, programas de gestión del riesgo a nivel territorial, etc.
- Actores de I+D+i: aquellos que investigan en temáticas de sostenibilidad ambiental, como centros nacionales de investigación y desarrollo tecnológico, universidades y grupos de investigación, institutos especializados en estudios de aguas, suelos, meteorología, etc.
- Organismos financieros multilaterales y bilaterales: actores con capacidad de gestión de recursos de inversión y líneas de financiación en temáticas de sostenibilidad y adaptación, como el Banco Mundial, el BID con su fondo de energía sostenible y cambio climático, el PNUD, la FAO, la Organización Mundial de la Salud (OMS), Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA), Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit Cooperación Técnica Alemana (GTZ), Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional (ACDI). En la figura 13 se presentan actores públicos y privados relacionados con la sostenibilidad ambiental.

Actores nacionales de orden privado



Actores Nacionales de Orden Privado



Figura 13. Actores privados y públicos.

Fuente: MADS (2013)

Los actores sociales de la gestión ambiental en Colombia se integran con el SINA, cuyo esquema se presenta en la figura 14.

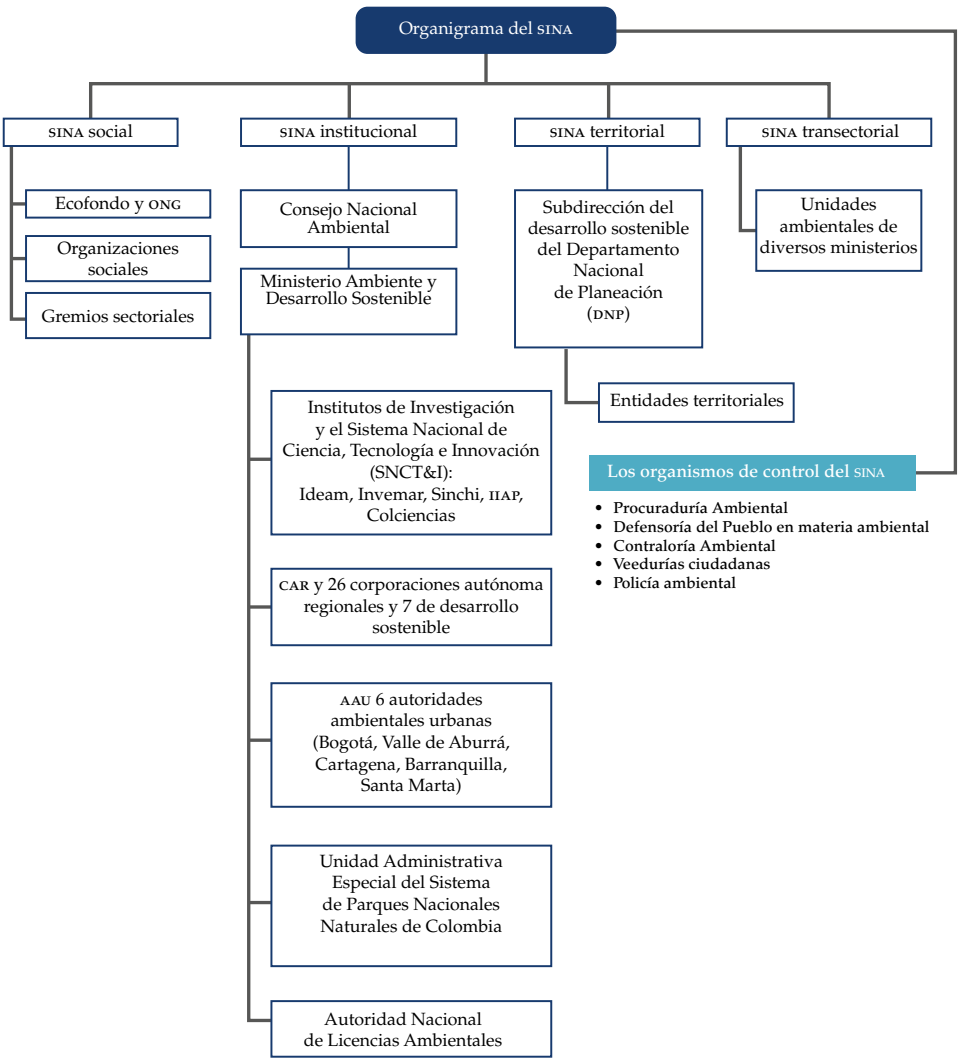


Figura 14. Sistema Nacional Ambiental de Colombia.
Fuente: MADS (2013)

En el nivel territorial, las CAR son los actores clave en temas de sostenibilidad ambiental y conflictos ambientales. En la tabla 24, se presentan los principales actores encargados de la gestión de conflictos ambientales en Colombia.

Tabla 24. Roles de los actores en materia de conflictos ambientales

Roles	Entidades
Entes de control	Defensoría del Pueblo. Contraloría General de la República. Fiscalía General de la Nación. Procuraduría General de la Nación. Personería Municipal o Distrital.
Autoridad ambiental	Corporación Autónoma Regional. Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Parques Nacionales Naturales de Colombia. Agencia Nacional de Licencias Ambientales.
Autoridad minera	Agencia Nacional de Minería.
Rama Judicial	Juzgado. Tribunales Administrativos. Consejo de Estado. Corte Constitucional. Corte Suprema de Justicia. Tribunales Superiores de Distrito Judicial.
Ente territorial	Alcaldías. Gobernaciones. Resguardos indígenas. Consejos comunitarios.
Organización de la sociedad civil	Organizaciones no gubernamentales Veedurías ciudadanas. Juntas de acción comunal.
Empresa	Públicas. Privadas. De economía mixta.
Comunidad	Afectado. Infractor.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (s. f.)

A partir de un análisis de información secundaria se identificaron, de manera preliminar, 312 actores con incidencia en sostenibilidad ambiental, desde diferentes roles a nivel organizacional y desde la gestión de conocimiento (figura 15).

De los 312 actores identificados, 221 pertenecen a la categoría de universidades y centros de investigación y desarrollo tecnológico, principalmente grupos de investigación y universidades con experiencia en el tema. De estos, 25 actores son entidades públicas del orden nacional y 4 del orden territorial (esto se desagrega en las diferentes oficinas de la CAR, de las secretarías de agricultura y ambiente de los departamentos, entre otras), y 60 son empresas relacionadas con la oferta de servicios ambientales.

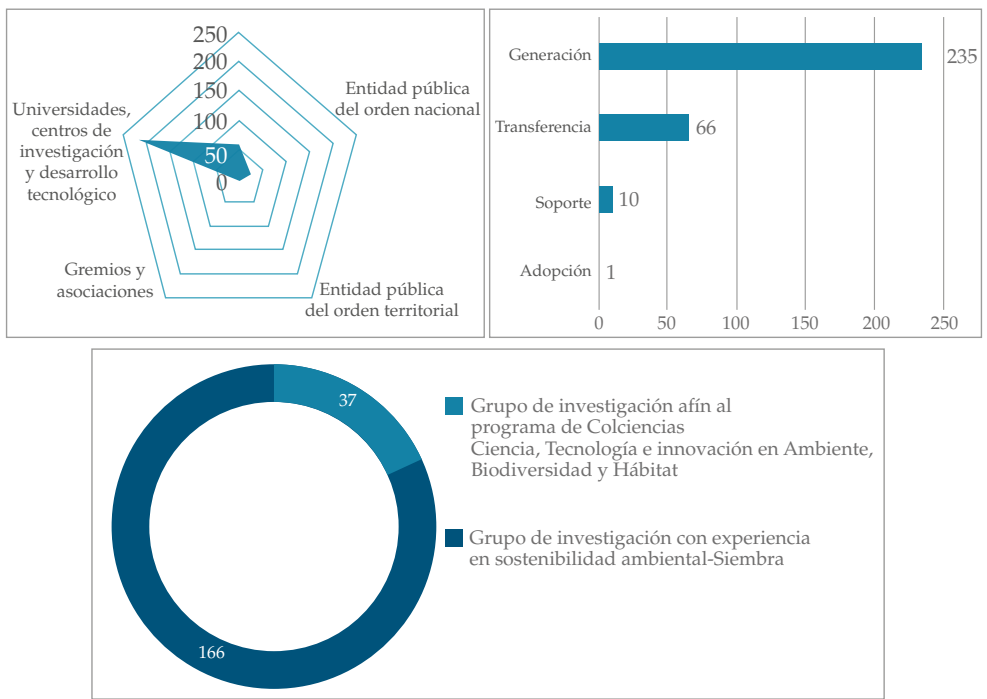


Figura 15. Mapa de actores institucionales para la megatendencia de sostenibilidad ambiental
Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Siembra (s. f.)

En términos de roles de gestión de conocimiento, 235 actores se ubican en el rol de generación de conocimiento (de actores que desarrollan actividades de investigación para la ejecución de un proyecto); 66, en el de transferencia (actores que socializan o difunden conocimiento científico y tecnológico propagado a un tejido social y productivo, por ejemplo, charlas, talleres, asistencia técnica,¹³ entre otros), y 10, en el de soporte (conjunto de actores que

¹³ Específicamente, no se clasifican las organizaciones de asistencia técnica por áreas temáticas, pero a la fecha se registran 1077 organizaciones de asistencia técnica directa (707 UMATA, 335 Epsagros, 35 CPGA).

suministran información y apoyan la transformación productiva y social); además, están los productores y actores en el territorio que se ubican como los principales en el rol de adopción de conocimiento (actor que pone en práctica o incorpora en sus métodos de producción una determinada recomendación técnica, conocimiento y directrices).

Construcción de directrices estratégicas

Las diferentes directrices de sostenibilidad ambiental en el nivel país recogen las perspectivas en política pública e investigación; en estas se encuentran orientaciones clave distribuidas en cuatro ejes:

- Conservación, uso y gestión del recurso agua.
- Conservación, uso y gestión del recurso suelo.
- Conservación, uso y gestión del recurso biodiversidad.
- Cambio climático, mitigación y preparación.

Estos cuatro ejes convergen en diferentes planes estratégicos y lineamientos de acción, como las carteras de ambiente, agricultura y planeación, principalmente. Desde la cartera de agricultura y el Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del sector Agropecuario Colombiano (Pectia), la propuesta estratégica en cuanto a CTi es considerar la agricultura como un servicio ambiental, derivado de la condición ecológica propia de cada ecosistema, y como una actividad multipropósito en la que se generan bienes y servicios para la sociedad, pero que, a la vez, incide en la conservación y el mantenimiento de la oferta natural de recursos.

Teniendo en cuenta que la implementación de la metodología del capítulo II se realiza en una megatendencia, se siguió la ruta 2 para el diseño de futuros. Así, se identificaron a partir de los resultados de las fases previas, 14 lineamientos estratégicos de base. Teniendo en cuenta el trabajo colaborativo con actores estratégicos del sector agropecuario, ambiental y académico, se construyeron estrategias a partir de los lineamientos estratégicos de base, que fueron refinadas, priorizadas y acotadas acorde a los objetivos estratégicos del Pectia. En la tabla 25 se presentan las estrategias definidas, su plazo de implementación y su orden de prioridad.

Tabla 25. Estrategias en sostenibilidad ambiental, variabilidad y cambio climático

Enfoque macro Promover el desarrollo sostenible de los agroecosistemas a escala territorial, con base en la coordinación interinstitucional (pública y privada) y la gestión del conocimiento ambiental y social, incluyendo el conocimiento y los saberes de las comunidades nativas y los agricultores acerca de los riesgos y la adaptación a la variabilidad climática.			
Estrategias definitivas		Temporalidad	Orden de prioridad
E1	Contribuir a la zonificación integral de los riesgos y las oportunidades agroclimáticas del país a través del trabajo y la coordinación interinstitucional, para el uso de información específica sobre función ecológica del territorio, la oferta ambiental, biofísica y socioeconómica, paisajes funcionales, etc.	Corto plazo	2
E2	Coordinar acciones interinstitucionales entre los actores del Sistema Nacional de Innovación (SNIA) y Sistema Nacional Ambiental (SINA), para una adecuada toma de decisiones y formulación de políticas en el territorio, con relación a la sostenibilidad ambiental, variabilidad y cambio climático.	Corto plazo	1
E3	Generar y articular conocimiento propio, información, metodologías, saberes ancestrales y una línea de base de medición, seguimiento y evaluación de impacto, acorde con las condiciones regionales de clima, suelo, agua, cultura y biodiversidad del territorio en nuestra condición de país intertropical-ecuatorial.	Mediano plazo	5
E4	Identificar, generar y evaluar alternativas para el uso de la biodiversidad territorial con capacidad de adaptación a variabilidad climática, que puedan vincularse a programas de seguridad alimentaria y mercados agroalimentarios con productos de valor agregado.	Mediano plazo	7

(Continúa)

(Continuación tabla 25)

Estrategias definitivas		Temporalidad	Orden de prioridad
E5	Identificar las necesidades de CTi, de acuerdo con la heterogeneidad territorial en el marco de la variabilidad y cambio climático.	Corto plazo	6
E6	Gestión del riesgo integral para la adaptación y reducción de los efectos adversos de la variabilidad climática en los territorios (gobernanza ambiental local), a partir de la corresponsabilidad en planificación, uso, manejo, conservación y monitoreo de la base de recursos naturales y su funcionalidad.	Mediano plazo	3
E7	Educación y formar competencias ciudadanas y construir liderazgo para la gestión ambiental a escala territorial.	Largo plazo	11
E8	Generar alternativas para la reducción del desplazamiento y la movilidad humana, mediante la protección, restauración y recuperación funcional de ecosistemas, promoción del desarrollo regional y recuperación de los potenciales productivos de los sistemas agropecuarios con enfoque sostenible.	Largo Plazo	8
E9	Formular planes de adaptación y mitigación al cambio climático para las cadenas y los sistemas productivos priorizados a partir de la incorporación de SAAT.	Largo plazo	9
E10	Diseño e implementación del SAAT.	Mediano plazo	4
E11	Promover el conocimiento, la conservación y el uso sostenible de los servicios ecosistémicos como mecanismo para mitigar los efectos en la emisión de gases contaminantes (efecto invernadero, entre otros).	Mediano plazo	10

Fuente: Elaboración propia

Perspectivas de futuro

Una vez consolidadas y formuladas las estrategias, los actores definieron perspectivas de futuro a 2026 para la megatendencia de sostenibilidad ambiental: en Colombia, un país con regiones diversas desde el punto de vista biofísico y cultural, se ha logrado de manera participativa tener un orden en ellas; a partir del entendimiento de la estructura y función de los ecosistemas presentes, la evaluación de los posibles riesgos a los que están expuestas, identificando sus potencialidades, sus fortalezas y sus debilidades, para garantizar su sostenibilidad y competitividad. Para ello, dentro de las regiones se han diseñado y mejorado, con los actores del territorio, sistemas de producción a partir de la oferta ambiental (suelo, agua, biodiversidad y clima) mediante la evaluación de la vocación y aptitud de la tierra y la demanda biofísica y socioeconómica, que ha garantizado la seguridad y soberanía alimentaria y el desarrollo sostenible, con base en sus potencialidades, de tal manera que sus moradores tienen fuentes de trabajo que les proporcionan ingresos suficientes para suplir sus necesidades, vivir con dignidad y ahorrar para el futuro. También, se ha logrado gracias a que las zonas se han convertido en focos de innovaciones donde, con base en la investigación y el desarrollo tecnológico, hoy se tienen agroindustrias sostenibles y competitivas, que le han dan valor agregado a productos regionales y que han generado desarrollo económico y social.

Conclusiones

El enfoque de sostenibilidad ambiental, variabilidad y cambio climático para el sector agropecuario debe considerar el hecho de que los agroecosistemas pueden tolerar cierto grado de disturbio de sus funciones sin perderlas, ya que si se interrumpe la acción perturbadora pueden volver a recuperar su función. Esto ocurre dentro de ciertos límites conocidos como *intervalo de resiliencia*; sin embargo, si se sobrepasan estos límites, se llega a un estado de no retorno. Este nuevo estado adquiere, después de un tiempo, un equilibrio, resultado de la integración de una serie de componentes que no existían, como vegetación, suelos, agua, etc., y se genera una nueva función que será la base, en el futuro, para cualquier intervención.

Dado que los recursos naturales (agua, tierra, biodiversidad) constituyen el soporte natural de las actividades económicas realizadas por el hombre, especialmente en las zonas rurales, existe una estrecha interdependencia entre la salud de los ecosistemas que integran estos recursos, el hombre y la productividad económica.

También, se considera muy importante ofrecer un marco organizacional que permita articular grupos afectados por la degradación ambiental y grupos comprometidos con el desarrollo sostenible. Estos grupos pueden ejercer presión para lograr los cambios de política necesarios. De esta relación de trabajo surge la noción de integralidad de los aspectos ambiental, social y económico del desarrollo sostenible.

Por consiguiente, si realmente las funciones ecológicas son esenciales para la producción económica y los servicios ambientales, para el bienestar del hombre, entonces el crecimiento económico que destruya las funciones ecológicas o disminuya el bienestar no podrá ser sostenible por mucho tiempo. A este respecto, es esencial considerar que la vida del hombre es muy corta, si se compara con el tiempo geológico de la tierra; por consiguiente, esta no se puede destruir en el pequeño lapso de vida humana, sin comprometer el bienestar de las generaciones futuras. Para cumplir con el principio de sostenibilidad es importante tener en cuenta que para que la tasa de producción, a partir de recursos renovables, sea sostenible, solo se puede extraer una cantidad que permita que la productividad se mantenga a largo plazo.

Por otra parte, aún es necesario que desde las actividades de CTi se resuelvan para las agroenergías los siguientes interrogantes:

- ¿Qué aproximaciones pueden desarrollarse para incrementar el uso eficiente del agua en agricultura y cuál es la relación costo-efectividad de estas aproximaciones?
- ¿Qué combinaciones de cultivos forestales, agroforestería, pasturas, sistemas de recolección de agua e instalaciones de almacenamiento, cultivos resistentes a la sequía y tecnologías para conservación del agua se requieren en zonas áridas y semiáridas para incrementar la producción de alimentos, y hasta qué margen son viables en cuanto a relación costo-efectividad?

- ¿Cómo puede ser optimizada la distribución entre sistemas de irrigación y funciones ambientales y qué políticas y tecnologías innovadoras pueden minimizar la compensación entre irrigación y uso de recursos ecosistémicos?
- ¿Cómo explotar los organismos del suelo para maximizar la productividad agrícola y minimizar los impactos ambientales?
- ¿Pueden los pagos e incentivos económicos por servicios ecosistémicos (secuestro de carbono, créditos de aguas verdes y enriquecimiento de la biodiversidad) llevar a la adopción de prácticas de manejo y uso de la tierra en pequeños productores?
- ¿Cómo diferentes mecanismos de mercado para pagos por reducción de gases de efecto invernadero y secuestro de carbono pueden afectar la agricultura y cómo deben ser implementados?
- ¿Cómo pueden ser equilibradas las demandas por el uso de la tierra para la producción de alimentos y energía y de esta manera asegurar la provisión de servicios ecosistémicos, manteniendo adecuados rendimiento y precios?
- ¿Cuáles son los impactos críticos predichos por el cambio climático en relación con rendimientos agrícolas, prácticas de cultivo, propagación de enfermedades, resistencia a enfermedades y desarrollo de sistemas de irrigación?
- ¿Cómo puede la resiliencia en sistemas agrícolas ser mejorada para un cambio climático gradual y uno extremo?
- ¿Cuál es la combinación adecuada de intensificación y extensificación requerida para entregar incremento en la productividad, reducción de gases de efecto invernadero e incremento de servicios ecosistémicos?
- ¿Qué evidencias indican que el cambio climático puede cambiar la incidencia de plagas y enfermedades?
- ¿Qué beneficios pueden derivar en un manejo sostenible de suelos para la agricultura sostenible y otros servicios ecosistémicos?
- ¿Cómo se pueden desarrollar métricas agregadas para monitorear el progreso hacia la sostenibilidad en sistemas de producción agrícolas, apropiados, aceptables, en diferentes contextos agroecológicos, sociales, económicos y políticos?
- ¿Cómo pueden los niveles de intervención en el paisaje ayudar al manejo de plagas y enfermedades, y qué enfoques son económica y socialmente más sustentables?

- ¿Cuáles son los objetivos de eficiencia prioritarios para los sistemas de producción pecuarios, que permitirán que estos sistemas alcancen la meta de la demanda de productos pecuarios, ambiental y económicamente sostenibles, socialmente responsables?
- ¿Qué medidas pueden tomarse para reducir de manera significativa los niveles de residuos en las cadenas de alimentos industrializadas y en países en desarrollo?



En este capítulo se describen los resultados de la implementación de la metodología descrita en el capítulo II, para la megatendencia de seguridad alimentaria. Así, se generó como punto de partida la base conceptual relacionada con el término *seguridad alimentaria* en el ámbito mundial, para el posterior análisis de los entornos científico-tecnológico, político-normativo y socioeconómico como caracterización del contexto de la megatendencia. Posteriormente, se especifican los tópicos clave de investigación en el ámbito internacional y nacional, las capacidades nacionales para el desarrollo de esfuerzos en ciencia, tecnología e investigación (CTi) en esta megatendencia. Finalmente, a partir de estos insumos se presentan las directrices clave y las perspectivas de futuro, construidas por expertos y actores principales de la megatendencia, que se convierten en insumo para la formulación de política pública.

Elementos conceptuales

La revisión del concepto de seguridad alimentaria, realizada por Simon (2009), menciona la existencia de más de 200 nociones de dicho concepto, basado en los trabajos de Gentilini (2002) y Smith, Pointing y Maxwell (1992). Pese a esta variedad de definiciones, Simon afirma que la noción más aceptada es la establecida en la Cumbre Mundial de la Alimentación de 1996 (WFS), según la cual: “(...) existe seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico, social y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos que satisfagan sus necesidades dietéticas y sus preferencias alimentarias para desarrollar una vida activa y sana” (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación [FAO], 1996).

La FAO (2006) señala que la seguridad alimentaria y nutricional debe abordarse desde cuatro dimensiones:

Disponibilidad de alimentos: La existencia de cantidades suficientes de alimentos de calidad adecuada, suministrados a través de la producción del país o de importaciones (comprendida la ayuda alimentaria).

Acceso a los alimentos: Acceso de las personas a los recursos adecuados (recursos a los que se tiene derecho) para adquirir alimentos apropiados y una alimentación nutritiva (...).

Utilización: Utilización biológica de los alimentos a través de una alimentación adecuada, agua potable, sanidad y atención médica, para lograr un estado de bienestar nutricional en el que se satisfagan todas las necesidades fisiológicas. Este concepto pone de relieve la importancia de los insumos no alimentarios en la seguridad alimentaria.

Estabilidad: Acceso a alimentos adecuados en todo momento. (...) el concepto de estabilidad se refiere tanto a la dimensión de la disponibilidad como a la del acceso de la seguridad alimentaria. (p. 1)

En el contexto nacional, la seguridad alimentaria y nutricional es definida 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, 2007, p. 3). De manera complementaria a las cuatro dimensiones de la FAO, el Gobierno nacional, en el documento Conpes Social 113, establece las dimensiones de consumo y calidad e inocuidad de los alimentos (DNP, 2007).

Así, el consumo “se refiere a los alimentos que comen las personas y está relacionado con la selección de los mismos, las creencias, las actitudes y las prácticas” (DNP, 2007, p. 6), mientras que la calidad e inocuidad son el “(...) conjunto de características de los alimentos que garantizan que sean aptos para el consumo humano, que exigen el cumplimiento de una serie de condiciones y medidas necesarias durante la cadena agroalimentaria hasta el consumo y el aprovechamiento de los mismos, asegurando que una vez ingeridos no representen un riesgo (biológico, físico o químico) que menoscabe la salud” (DNP, 2007, p. 7).

Elementos clave del contexto de la megatendencia para Colombia

En 2006, en el entorno político-normativo se inició el proceso de construcción de la Política Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional (PNSAN), para lo cual se conformó una mesa nacional compuesta por entidades del orden nacional, departamental, municipal, organismos internacionales, de la sociedad civil, gremios y universidades. Con el Decreto 2055 de 2009 se creó la Comisión Intersectorial de Seguridad Alimentaria y Nutricional (CISAN), como “máxima instancia estatal de dirección, coordinación y seguimiento interinstitucional, de articulación de políticas y programas, y de seguimiento a los compromisos que asumen cada uno de los actores que inciden en la seguridad alimentaria y nutricional” (2015). Dicha comisión lanzó oficialmente el PNSAN 2012-2019 (CISAN, 2015), resultado del documento Conpes 113 de marzo de 2007 (DNP, 2007). Como producto de la PNSAN y del análisis de las problemáticas de dispersión y desactualización de datos en cuanto a seguridad alimentaria y nutricional, se creó el Observatorio de Seguridad Alimentaria y Nutricional en 2013.

El PNSAN es el marco orientador para poner en marcha la política en materia de seguridad alimentaria en el país, cuyo objetivo principal es garantizar que toda la población colombiana disponga, acceda y consuma alimentos de manera permanente y oportuna, en suficiente cantidad, variedad, calidad e inocuidad. La política tiene como principios el derecho a la alimentación, equidad social, perspectiva de género, sostenibilidad, corresponsabilidad y respeto a la identidad y diversidad cultural (Uribe Galvis et al., 2011).

Por otro lado, en el actual Gobierno se creó el programa Red de Seguridad Alimentaria (ReSA), que busca “(...) mejorar el acceso y consumo de los alimentos de las familias objetivo del Sector de Inclusión Social y Reconciliación mediante la producción de alimentos para el autoconsumo, la promoción de hábitos alimentarios saludables y el uso de alimentos y productos locales para contribuir con la disminución del hambre y el mejoramiento de la seguridad alimentaria en el país” (Prosperidad Social, 2015, p. 17).

El contexto socioeconómico de la seguridad alimentaria se establece a partir de la base de datos de indicadores de la FAO, que están clasificados de acuerdo con las cuatro dimensiones de la seguridad alimentaria de disponibilidad,

acceso, utilización y estabilidad. Esta base de datos, que se actualiza periódicamente, permite diagnosticar el estado de la seguridad alimentaria a nivel mundial, y así facilita comparaciones entre regiones y a través de tiempo. En la tabla 26 se presentan los indicadores de seguridad alimentaria para Colombia, el promedio para los países de la región suramericana¹⁴ y, como referente, los valores de Dinamarca, un país desarrollado que registra un alto índice de progreso social (en este índice, en 2015 se ubicó en el puesto 8, mientras que Colombia, en el puesto 49).¹⁵

Tabla 26. Indicadores de seguridad alimentaria y nutricional en Colombia, Suramérica y Dinamarca

Indicadores de seguridad alimentaria	Año	Colombia	Suramérica	Dinamarca
Dimensión de disponibilidad				
Suficiencia del suministro de energía alimentaria promedio (porcentaje).	2014-2016	122	131	132
Valor de la producción de alimentos promedio (dólar internacional per cápita).	2011-2013	272	575	1.084
Proporción del suministro de energía alimentaria derivado de cereales, raíces y tubérculos.	2009-2011	35	38	29
Suministro de proteínas promedio (gramos/per cápita/día).	2009-2011	62	84	107
Suministro de proteínas de origen animal promedio (gramos/per cápita/día).	2009-2011	32	44	67

(Continúa)

¹⁴ En los indicadores donde no aparece un valor, se debe generalmente a datos no disponibles para todos los países de la región.

¹⁵ El índice de progreso social mide indicadores en tres dimensiones: necesidades básicas (nutrición y asistencia médica básica, agua y saneamiento, vivienda, seguridad personal), fundamentos del bienestar (acceso a conocimientos básicos, acceso a la información y a las comunicaciones, salud y bienestar, sustentabilidad del ecosistema), oportunidades (derechos personales, libertad personal y de elección), tolerancia e inclusión, acceso a educación superior). Para más información, puede consultarse: <https://www.socialprogress.org>.

(Continuación tabla 26)

Indicadores de seguridad alimentaria	Año	Colombia	Suramérica	Dinamarca
Dimensión de acceso				
Porcentaje de carreteras asfaltadas en el total de caminos.	2009	14,4	10,3	100
Densidad de carreteras (por 100 km ² de área).	2011	18,8	14,6	171,6
Densidad de líneas ferroviarias (por 100 km ² de área).	2009	0,1	0,4	4,9
Producto interno bruto per cápita en poder adquisitivo equivalente (dólares a precios internacionales constantes).	2014	12.743	14.435,2	42.758
Índice nacional de precios de los alimentos.	2014	2,74	2,99	1,31
Prevalencia de la subalimentación (%).	2014-2016	8,8	<5,0	<5.0
Proporción del gasto en alimentos de los pobres (%).	N. D.	N. D.	N. D.	11 (2002)
Intensidad del déficit alimentario (kcal/per cápita/día).	2014-2016	62	25	8 *
Prevalencia de la insuficiencia alimentaria (%).	2014-2016	15,5	7,6	<5 *
Dimensión de estabilidad				
Proporción de dependencia. de las importaciones de cereales	2009-2011	63,3	-12,7	-13,7
Porcentaje de tierra arable provista de sistemas de riego.	2011-2013	67,4	11,5	17,8
Valor de las importaciones de alimentos en el total de mercancías exportadas (%).	2011-2013	7,0	5,0	7,0
Estabilidad política y ausencia de violencia o terrorismo (índice).	2014	-1,12	N. D.	0,94
Volatilidad de precios domésticos (índice).	2014	4,5	8,7	6,0

(Continúa)

(Continuación tabla 26)

Indicadores de seguridad alimentaria	Año	Colombia	Suramérica	Dinamarca
Variabilidad de la producción de alimentos per cápita (dólares a precios internacionales constantes).	2013	10,2	16,0	13,5
Variabilidad del suministro de alimentos per cápita (kcal/per cápita/día).	2011	59	17	44
Dimensión de utilización				
Acceso a fuentes de agua mejoradas (% de la población con acceso).	2014	91,3	95,5	100,0
Acceso a servicios de saneamiento mejorados (% de la población).	2014	81,1	84,3	99,6
Porcentaje de niños menores de cinco años que padecen emaciación.	2010	0,9	N. D.	N. D.
Porcentaje de niños menores de cinco años que padecen retraso del crecimiento.	2010	12,7	N. D.	N. D.
Porcentaje de niños menores de cinco años que padecen insuficiencia ponderal.	2010	3,4	N. D.	N. D.
Porcentaje de adultos que padecen insuficiencia ponderal.	2005	3,9	N. D.	2,2 (2006)
Prevalencia de la anemia entre las mujeres embarazadas (%).	2011	29,9	N. D.	24,0
Prevalencia de la anemia entre los niños menores de cinco años (%).	2011	27,9	N. D.	13,6
Prevalencia de la falta de vitamina A en la población (%).	2005	5,2	N. D.	N. D.
Prevalencia de niños entre 6 y 12 años que padecen insuficiencia de yodo (%).	1998	6,4	N. D.	N. D.

(Continúa)

(Continuación tabla 26)

Indicadores de seguridad alimentaria	Año	Colombia	Suramérica	Dinamarca
Estadísticas adicionales				
Población total (millones de habitantes).	2014-2016	49,5	415	5,7
Número de personas desnutridas (millones de habitantes).	2014-2016	4,4	N. D.	14,7*
Requerimiento energético mínimo diario (kcal/per cápita/día).	2014-2016	1.843	1.873	1.942*
Requerimiento energético dietario promedio (kcal/per cápita/día)	2014-2016	2.343	2.391	2.505*
Requerimiento energético dietario mínimo = 1,75 (kcal/per cápita/día).	2014-2016	2.015	2.053	2.151*
Coeficiente de variación de la distribución de consumo calórico habitual.	2016	0,27	N. D.	N. D.
Asimetría de la distribución de consumo calórico habitual.	2016	0,82	N. D.	N. D.
Incidencia de la pérdida calórica en la distribución al nivel de punto de venta (%).	2016	3,49	N. D.	N. D.
Suministro de energía en la dieta (kcal/per cápita/día).	2014-2016	2.848	3.141	3.408
Suministro de energía en la dieta (kcal/per cápita/día).	2009-2011	77	98	131
Prevalencia de sobreadquisición de alimentos (%).	2014-2016	27,3	37,2	40,1
Requerimiento máximo de energía alimentaria (kcal/per cápita/día).	2014-2016	3.089	3.161	3.341

Nota: el asterisco de la última columna señala que el indicador es estimado para los países desarrollados.
Fuente: Elaboración propia, a partir de FAO (2015c)

De acuerdo con los indicadores de disponibilidad de alimentos, en Colombia el suministro de energía diario supera el requerimiento energético de la población, ya que el indicador *suficiencia del suministro de energía alimentaria promedio* alcanza un valor de 122 % (tabla 26). Por ejemplo, en 2014 el área sembrada del grupo de alimentos prioritarios (azúcar, carnes, cereales, frutas y hortalizas, leguminosas, oleaginosas, tubérculos y plátanos) fue de 901.259 ha y la producción agrícola del grupo de alimentos prioritarios en el mismo año fue de 4,31 millones de toneladas, mientras que las importaciones fueron de 8,13 millones de toneladas, por un valor de 4.030 millones de dólares americanos (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], s. f.a). Por su parte, la producción pecuaria para 2011 fue de 4,43 millones de toneladas (Uribe Galvis et al., 2011).

A pesar de que la producción e importación de alimentos es suficiente, se evidencia que la prevalencia de la subalimentación (de privación crónica de alimentos-hambre) en Colombia es del 8,8 %, un valor mayor que el registrado para la región suramericana y para Dinamarca (tabla 26). Sin embargo, el indicador de la *prevalencia de insuficiencia alimentaria* (es decir, la población que no se encuentra subalimentada crónicamente, pero que de pronto se ve afectada en su actividad económica por alimentación insuficiente) alcanza el 15,5 %, cifra superior al promedio suramericano (7,6 %) y al de los países desarrollados (<5,0 %). En su conjunto, estos indicadores demuestran que, más allá de la disponibilidad de alimentos, en Colombia se presenta un problema con la distribución de los alimentos.

Unos de los limitantes al acceso de los alimentos es la precariedad en las condiciones económicas de la población. Así es como el porcentaje de la población por debajo de la línea de pobreza es del 28,5 % (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], s. f.b) y el de la población por debajo de la línea de pobreza extrema para los centros poblados y rurales dispersos es del 18%; en las cabeceras municipales es del 5,10 % y en otras áreas, del 8,6 %. La tasa de desempleo en 2014 fue del 9,1 % (DANE, s. f.a).

Para 2005 los alimentos de mayor consumo entre la población colombiana fueron arroz (73,8 %), aceite vegetal (72,6 %), azúcar (60,8 %), papa (54,5 %), café en infusión (47,6 %), leche líquida (47,2 %), plátano (43,4 %), carne de res (41,9 %), panela (41,5 %) y pan (40,5 %) (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], s. f.c). En cuanto a la calidad de la dieta

estimada a la proporción del suministro de energía alimentaria derivada de cereales, raíces y tubérculos, se observa que los valores para Colombia (32 %) indican que la calidad de la dieta es comparable a la del contexto suramericano (36 %) y a la de los países desarrollados (25-35 %) (tabla 26). Las mayores diferencias en la calidad de la dieta frente a los países desarrollados se dan en términos del suministro promedio de proteínas en la dieta, que en Colombia alcanzan valores promedio de 62 g/per cápita/día (tabla 26), mientras que en los países desarrollados estas cifras superan los 100 g/per cápita/día. Una situación similar ocurre con el suministro promedio de proteínas de origen animal, que en el contexto colombiano es de 32 g/per cápita/día, frente a valores de 67 g/per cápita/día registrados en Dinamarca (tabla 26).

El indicador de estabilidad proporción *dependencia de las importaciones de cereales* evidencia que Colombia tiene una alta dependencia sobre las importaciones de cereales (63 % para el periodo 2009-2011) (tabla 26); además, esta dependencia ha estado en crecimiento constante desde los años noventa, pues estaba en 24 % para el periodo 1990-1992 (los datos completos se pueden consultar en Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], s. f.b). Así, el país se ha convertido en un importador neto de cereales, contrario a la tendencia general del continente suramericano, que es un exportador neto de cereales. Sin embargo, el indicador *valor de las importaciones de alimentos en el total de las mercancías exportadas*, que provee una medida de la vulnerabilidad del país y captura la robustez de las reservas de divisas para pagar las importaciones de alimentos, tiene un valor del 7 %, relativamente bajo y comparable a las cifras registradas en los países desarrollados con valores alrededor del 6 % (tabla 26).

El porcentaje de tierra arable provista de sistemas de riego revela que en el periodo de análisis Colombia ha adecuado con riego el 67,4 % de la tierra en uso agropecuario, mientras que en el contexto del continente suramericano esta tasa es únicamente del 11,5 %, y es superada por Dinamarca (17,8 %) (tabla 26). Esta situación puede explicarse por la mayor inversión en infraestructura realizada por el Gobierno y la incorporación de nuevas áreas al uso agropecuario. Según la Asociación de Agricultores de Colombia (SAC, s. f.), Colombia cuenta con 22 millones de hectáreas con vocación agrícola y únicamente tiene cultivadas 5.200.000 hectáreas. Al comparar la evolución de las tierras adecuadas con sistemas de riego en Colombia en los últimos 16 años (1997-2013), la tasa de crecimiento se calcula en 13,2 %,

mientras que la del continente es del 0,8 %. Por su parte, en Dinamarca la adecuación de tierras con riego ha crecido a una tasa del 0,12 % (los datos completos se pueden consultar en FAO, s. f.b). En estas condiciones, Colombia presenta una disponibilidad alimentaria estable de su población, aunque este indicador es contradictorio cuando se compara con la dependencia de las importaciones de cereales que ha venido en aumento. Según estadísticas de la Federación Nacional de Cultivadores de Cereales (Fenalce, 2015), los principales cereales y leguminosas importados en 2014 fueron lenteja (72.389 t), arveja (29.137 t), garbanzo (10.730 t) y frijol (6.957 t).

Lo anterior muestra que el país ha venido reconvirtiendo los usos agropecuarios hacia otros diferentes a los cereales y leguminosas; de hecho, el Censo Nacional Agropecuario de 2014 indica que más del 40 % del área agrícola está siendo explotada con cultivos agroindustriales como café, palma de aceite, caña de azúcar, cacao, caucho, tabaco y algodón. El 28,5 % de la tierra agropecuaria se encuentra en cultivos de plátano y tubérculos (yuca y papa); en el 21,8 % del área agrícola se cultivan cereales (arroz y maíz amarillo y blanco). A pesar de estos datos respecto al uso agrícola del suelo, es necesario considerar la gran proporción de suelo dedicado a la explotación ganadera, ya que, de los 43,1 millones de hectáreas con uso agropecuario, 34,4 millones de hectáreas corresponden a pastos (79,8 %) en contraste con los 7,1 millones de hectáreas que se encuentran cultivadas con permanentes, transitorios y cultivos asociados (DANE, s. f.a).

Asu vez, el área sembrada del grupo de alimentos prioritarios, entre los que se cuentan azúcar, carnes, cereales, frutas, hortalizas, leguminosas, oleaginosas, tubérculos y plátanos, para 2014 fue de 901.259 ha, con una producción de 4,31 millones de toneladas. La producción pecuaria registró para ese mismo año 4,43 millones de toneladas. Para este grupo de alimentos, se registraron 8,13 millones de toneladas importadas por un valor de 4030 millones de toneladas (DANE, s. f.a).

Dos de los recursos importantes con los que cuenta el país son los pesqueros y los acuícolas, cuya explotación se ha convertido en una fuente promisoría de alimento para las poblaciones costeras. Por otro lado, Colombia tiene un lugar destacado en cuanto a recursos hídricos se refiere, que ofrecen una alta diversidad de peces y otros organismos hidrobiológicos, así como fuentes

de aguas dulces, salobres y marinas, y terrenos aptos que le otorgan un gran potencial para el desarrollo de la acuicultura (FAO, 2006).

Datos de la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE) (MADS, 2012), mencionan que la pesca es “(...) la principal fuente de alimento e ingreso económico de las poblaciones rurales de algunas regiones del país. Así, se estima que, de la producción del sector pesquero, el 49 % corresponde a pesca marina, el 43 % a acuicultura (13 % marina y 30 % continental) y el 8 % proviene de la pesca continental” (p. 31). En la PNGIBSE se cita que, según cifras del MADR, la producción pesquera y acuícola en Colombia en la última década ha tenido un promedio anual de 166.000 toneladas, de las cuales el 50 % es producido por la pesca industrial, 23 % por la pesca artesanal y 27 % por los productos de la acuicultura (Instituto Colombiano de Desarrollo Rural [Incoder], s. f.).

La acuicultura marina y continental presentó un crecimiento entre 1985 y 2002 de 7,6 %, especialmente donde las poblaciones rurales han construido pequeños estanques como parte del fortalecimiento de la acuicultura rural de pequeña escala para contribuir a su alimentación en función del autoconsumo (FAO, 2006).

Entendida la volatilidad como los cambios en velocidad, magnitud y cambios de dirección (arriba o abajo) en las tasas de variación de los precios, hay volatilidad cuando los precios están aumentando y disminuyendo con frecuencia. En los últimos 14 años, en Colombia la volatilidad de los precios domésticos ha presentado una tendencia moderada, si se compara con el contexto suramericano y la volatilidad del país de referencia, Dinamarca (los datos completos se pueden consultar en FAO, s. f.b). Según FAO (2011c), la volatilidad en los precios de los alimentos puede ser explicada por factores coyunturales y estructurales; para el caso colombiano, por la dependencia de importaciones de insumos para la producción (agroquímicos) y la debilidad de los servicios de apoyo a la producción generados por el estado (infraestructura, crédito accesible, riego, asistencia técnica, entre otros) y los bajos niveles de adopción de la oferta tecnológica disponible.

FAO (2011c) indica que la fuente más recurrente de variabilidad de los precios en la agricultura ha estado históricamente constituida por los *shocks* de oferta generados por eventos climáticos extremos. Colombia es altamente

sensible al comportamiento extremo del clima, lo que se evidencia con la recurrente presencia de los fenómenos del Niño y la Niña, que han generado pérdidas de cosechas y baja productividad de los cultivos en el país, y esto ha derivado en coyunturas especulativas de los alimentos con implicaciones en el aumento de los precios al consumidor.

En países como Colombia, los incrementos de los precios de los productos agrícolas acarrearán costos sociales en términos de acceso a los alimentos, en particular por parte de la población más pobre; esto, según proyecciones del DANE, en 2015 corresponde al 27% de la población colombiana, es decir, aquellas personas con un ingreso mensual de \$211.807. Según el boletín del Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario (SIPSA) (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], s. f.d), que cubre 57 mercados mayoristas a nivel nacional ubicados en 20 departamentos de Colombia, entre marzo de 2015 y marzo de 2016, en el grupo de los tubérculos (raíces y plátanos), la arracacha registró un incremento de precio, y se presentó la mayor variación en el mercado de Bogotá: 414,51 %. La papa criolla también tuvo un incremento del precio; en Medellín se dio el aumento más marcado, con 195,80 %.

Los indicadores de utilización de alimentos en Colombia presentan comportamiento variable. El indicador *porcentaje de niños menores de cinco años que padecen emaciación* (manifestación clínica de delgadez excesiva, generalmente causada por enfermedad o falta de alimentación) muestra un valor de 0,9 % para 2010 (tabla 26), una cifra comparable a otros países latinoamericanos, pero significativamente inferior a los registrados en países en desarrollo en África y Asia. En cuanto al indicador *porcentaje de niños menores de cinco años que padecían retraso del crecimiento* en 2010, este alcanzaba el 12,7 % (tabla 27). Aunque el indicador ha presentado una mejora en los últimos 15 años (en 1995 alcanzaba el 19,5 %) sigue estando por debajo de países de la región, como Chile (1,8 % en 2014) o Argentina (8,2 % en 2005), pero por encima de países como Perú (23,3 % en 2010) y Bolivia (27,2 % en 2008). Una situación similar se presenta con el indicador *porcentaje de niños menores de cinco años que padecen insuficiencia ponderal* (3,4 % en 2010) (tabla 27), el cual es significativamente menor comparado con el contexto africano o asiático, pero relativamente similar a las cifras de otros países latinoamericanos. Nuevamente Colombia presenta rezagos en este indicador frente a Argentina y Chile. La *prevalencia de la anemia entre los*

niños colombianos menores de cinco años es del 27,9 % casi el doble del valor registrado para Dinamarca (13,6 %) (tabla 26). En la región suramericana los países con los niveles más bajos son Argentina (20,5 %), Brasil (23,6 %), Chile (20,9 %), Paraguay (27,2 %) y Uruguay (23,6 %).

En cuanto a la *prevalencia de la carencia de vitamina A* en la población colombiana, se registró un valor de 5,2 % en 2005 (tabla 26). Las mediciones de este indicador son relativamente infrecuentes; sin embargo, para el contexto suramericano, este valor se puede comparar con las mediciones realizadas en 2005 en Argentina (14,3 %) y Brasil (15,4 %), en 2004 en Venezuela (21,8 %) y en 2001 en Perú (14 %). Por otro lado, la *prevalencia de la carencia de vitamina A* es mayor en los niños menores de 5 años: alcanzó el 24,3 % de esta población (Instituto Colombiano de Bienestar Familiar [ICBF], 2009).

La *prevalencia de la anemia entre las mujeres embarazadas* en Colombia se ubicó con el 29,9 % (tabla 26), lo cual se puede comparar a los valores más bajos registrados en Suramérica, en Perú (23 %) y Chile (25,1 %) y los valores más altos del 37,7 % en Bolivia y 32,4 % en Brasil.

Orientaciones en los contextos nacional e internacional

Las directrices de base para el desarrollo de iniciativas de I+D+i se identifican a través del análisis de documentos sectoriales, institucionales y de política pública específico, o afines a la megatendencia. El objetivo de este análisis es establecer el marco de referencia sobre el cual deben ser formulados los proyectos de CTi.

Contexto internacional

En el componente de desarrollo rural e incremento de la productividad, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2015a) plantea como estrategia el incremento de la productividad, especialmente en los sistemas de agricultura a pequeña escala o sistemas de agricultura familiar. Según la FAO, más del 90 % de los 570 millones de explotaciones agrícolas de todo el mundo está dirigido por una persona o familia, y se basa principalmente en la mano de obra familiar, y el 84 % de las explotaciones familiares abarca menos de dos hectáreas y ocupa únicamente el 12 % de la superficie agrícola.

Sin embargo, en términos de valor, estas explotaciones producen más del 80% del total mundial de alimentos (FAO, 2015a), lo cual muestra que los pequeños productores juegan un papel fundamental en la seguridad alimentaria, ya que su producción provee gran parte de alimentos que se consumen localmente en la mayoría de los países. Este sistema de producción vincula las funciones de producción y consumos de los hogares rurales de manera directa y el abastecimiento de mercados locales de manera indirecta; así, se conforma una red de seguridad social en torno a la seguridad y nutrición alimentaria (Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola [FIDA], 2011; High Level Panel of Experts [HLPE], 2013a).

La eficiencia de la agricultura familiar ligada a pequeñas explotaciones agrícolas radica en la capacidad de los pequeños productores de alcanzar, en unidades de tierra no muy grandes, niveles de producción diferenciados, a través de la utilización de mano de obra familiar. Esto se convierte en una alternativa para minimizar el detrimento de los recursos naturales y la sobreexplotación, y limitar el daño al medio ambiente.

A nivel mundial, se requiere de manera urgente apoyar y fortalecer los sistemas de producción de agricultura familiar, y de esta manera generar una necesidad de conocimiento e innovación en sistemas de producción diversificados que contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas y que tengan la capacidad de adaptación al cambio climático, y tecnologías apropiadas para la producción de pequeña escala, eficientes desde el punto de vista energético e intensivas en mano de obra (en lugar de ser intensivas en capital).

Por otro lado, algunas iniciativas de diversificación están promoviendo el rescate de las especies subutilizadas y olvidadas (NUS, por su sigla en inglés). Estas especies (también conocidas como cultivos menores o huérfanos, cultivos ancestrales, plantas o cultivos tradicionales, dependiendo del contexto) han empezado a despertar interés por su potencial para mejorar las dietas y estado nutricional de la población, para crear ingresos, mejorar la resiliencia de los sistemas productivos ante el cambio climático y promover la diversidad cultural. Se reconoce, además, que la promoción de estas especies puede jugar un papel en el empoderamiento de mujeres y grupos étnicos (Padulosi, Thompson, & Rudebjer, 2013).

El aporte de la agrobiodiversidad, tomando como base los recursos genéticos, es un potencial para la seguridad alimentaria y nutricional como medio de subsistencia y diversificación alimentaria, que requiere generar conocimiento e innovaciones en varios ámbitos; por ejemplo, en todos los sistemas productivos en el desarrollo de modelos de producción sostenibles (producción limpia, agroecología, etc.)

Una estrategia complementaria a la diversificación de la alimentación es la biofortificación, un proceso que se utiliza para obtener alimentos vegetales enriquecidos en micronutrientes disponibles, a través del fitomejoramiento convencional, la ingeniería genética o la biofortificación agronómica¹⁶ (Ministerio de Salud y Protección Social [MSPS], 2015).

A nivel mundial, la biofortificación se ha centrado fundamentalmente en cultivos básicos y en hierro, zinc y β -carotenos; en el contexto latinoamericano, los mayores desarrollos se han obtenido en el maíz, el trigo, la batata, el arroz, el frijol y la yuca.

Contexto nacional

La Misión para la Transformación del Campo (DNP, 2015) identificó que la población rural se encuentra en una situación crítica de inseguridad alimentaria y en condición de pobreza extrema, debido al costo de la canasta básica de alimentos, bajos ingresos, bajo acceso, consumo y disponibilidad de una alimentación adecuada y una educación nutricional inexistente. Al respecto, la misión considera que se deben tener en cuenta estrategias como:

- Diseño de un programa de seguridad alimentaria en gran escala, que permita atender y acompañar a las familias de los municipios rurales y rurales dispersos.
- Educación en hábitos saludables.
- Subsidios a la demanda.
- Énfasis en la alimentación infantil mediante los programas de alimentación escolar y los paquetes nutricionales complementarios.
- Garantizar la seguridad alimentaria de la población rural a través del acceso a las tecnologías y al conocimiento que requieren para que sus sistemas productivos sean rentables.

¹⁶ El aumento de los contenidos minerales a través de la fertilización edáfica o foliar.

- Aprovechamiento sostenible de los recursos de la biodiversidad, la investigación y la innovación para el mejoramiento de sus sistemas productivos ancestrales.
- Intervención en los mercados de productos agropecuarios para reducir la intermediación.
- Garantizar la seguridad alimentaria de la población manejando precios favorables para el consumidor y para el productor.
- Fortalecer la estrategia de nutrición y seguridad alimentaria, desde los instrumentos existentes de política pública, empoderando a los actores territoriales para la conformación de programas de fomento a la seguridad alimentaria, y así dinamizar la oferta y demanda de productos locales de agricultura familiar.

Tendencias en I+D+i en los contextos nacional e internacional

El análisis de la divulgación de resultados de investigación, a través de publicaciones científicas indexadas, permite identificar tendencias de investigación en diferentes áreas temáticas, así como aquellos tópicos que generan mayor interés en los diferentes actores relacionados.

Contexto internacional

En la figura 16 se presenta la dinámica de investigación en la megatendencia de seguridad alimentaria en el área de agricultura. Desde 2010 hasta marzo de 2017 se registraron 265.323 publicaciones; Estados Unidos, Chin, España, Italia y Brasil son los líderes en el contexto global, países donde se destacan organizaciones como la Universidad de Wageningen, la USDA, la Universidad de Sao Paulo y China Agricultural University. En el ámbito de América Latina y el Caribe, Brasil, México, Argentina, Chile y Colombia lideran con 15.570, 5.485, 2.329 y 1.711 publicaciones, respectivamente.

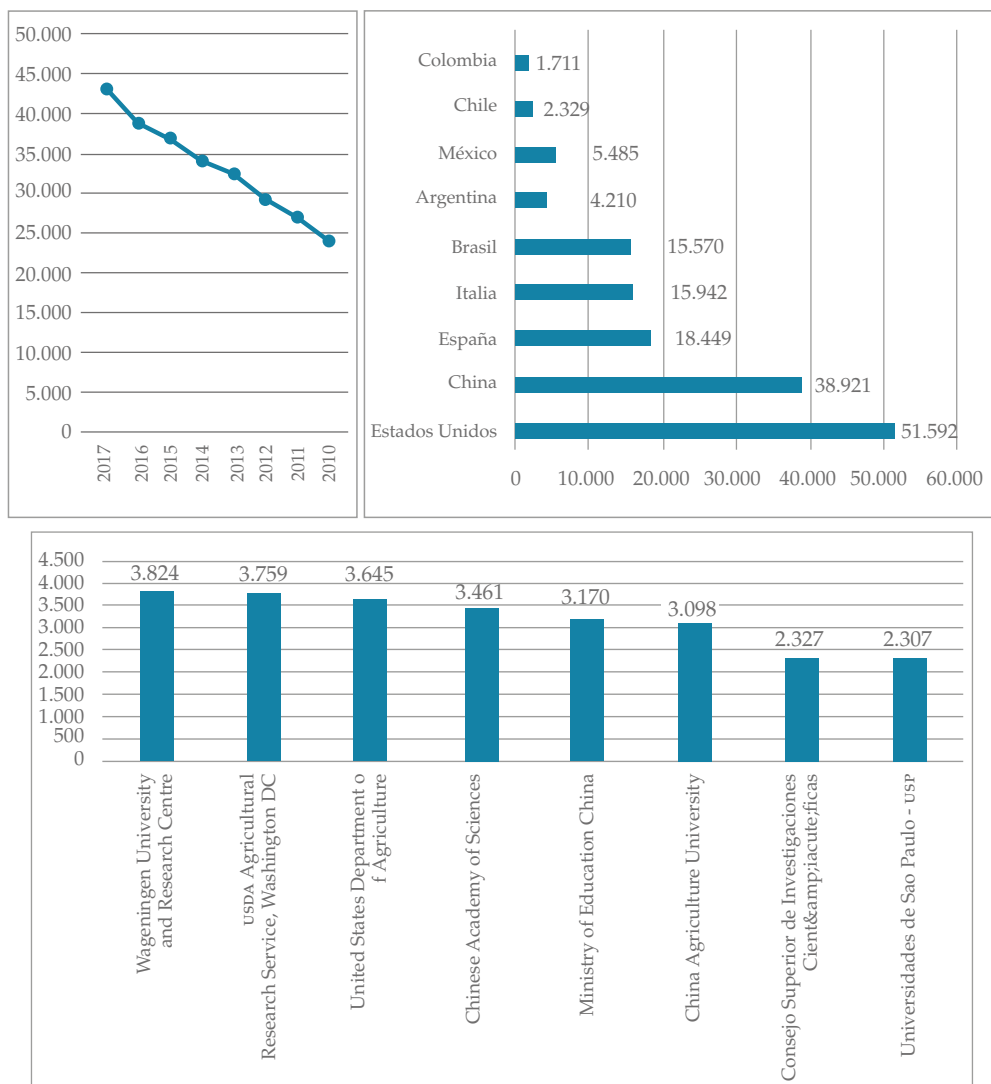


Figura 16. Seguridad alimentaria como megatendencia en investigación en agricultura y ciencias biológicas a nivel mundial. Dinámica de publicaciones científicas y actores líderes, periodo 2010-2017.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Scopus (s. f.)

Las tendencias de investigación en seguridad alimentaria abordan temas como sistemas de seguridad alimentaria en pequeñas unidades pecuarias, lineamientos de manejo de virus en el Codex Alimentarius, prácticas de manejo e inocuidad en diferentes mecanismos de transporte en la cadena de suministros, efectividad de empaques antimicrobianos, análisis de riesgos en el *retail* de alimentos,

necesidades y aplicaciones actuales del Sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (HACCP, por sus siglas en inglés), y estudios de inocuidad en alimentos mínimamente procesados. Los temas de base son el nivel de acceso a alimentos, el procesamiento térmico para incrementar el valor nutricional y los estudios microbiológicos de productos en fresco, semielaborados y elaborados. Algunas temáticas emergentes son testeo de microorganismos en comida lista para consumo, identificar adulteración de alimentos, seguridad e inocuidad en productos alimenticios autóctonos y artesanales, y parámetros de calidad bioquímicos y tecnologías de determinación.

Contexto nacional

Respecto a la producción científica por parte de Colombia, a través de una búsqueda en la base de datos de Scopus, se encontraron, para el periodo 2000-2015, 175 publicaciones de las cuales 134 son artículos, 28 son reseñas, 6 son ponencias de conferencia y 2 son artículos en proceso de publicación (*in press*). La mayoría de las publicaciones proviene principalmente del Centro Internacional de Agricultura Tropical, con 72 publicaciones; la Universidad Nacional de Colombia, con 38; la Universidad de Antioquia, con 19, y Universidad Industrial de Santander, con 13 (Scopus, s. f.).

En la tabla 27 se presenta el panorama actual de la investigación científica internacional generada en Colombia para seguridad alimentaria.

Tabla 27. Seguridad alimentaria como megatendencia de investigación en el sector agropecuario en Colombia

Criterio	Datos
Organizaciones líderes en la megatendencia de agricultura y ciencias biológicas.	• Universidad Nacional de Colombia. • Centro Internacional de Agricultura Tropical. • Universidad de Antioquia. • Universidad de los Andes. • Universidad del Valle. • Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. • Universidad Industrial de Santander.

(Continúa)

Criterio	Datos	
Países y organizaciones aliadas en investigación.	• Estados Unidos. • España. • Reino Unido. • México. • Italia. • Francia.	• Ohio State University. • Cornell University. • University of Leeds. • CIRAD Centre de Recherche de Montpellier. • Universidad Central de Venezuela. • Wageningen University and Research Centre. • Universidad Politécnica de Valencia. • Bioversity International. • USDA United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington D. C.
Tópicos tendenciales.	• Seguridad e inocuidad alimentaria en hogares de jornaleros de fincas cafeteras. • Biosensores: aplicaciones y perspectivas en el control y la calidad de procesos y productos alimenticios. • Calidad microbiológica y fisicoquímica del agua utilizada en la industria de alimentos. • Planes de saneamiento en distribuidoras de alimentos. • Elementos de política social en la seguridad alimentaria. • Patrón alimentario y acceso de alimentos. • Elementos de política social en la seguridad alimentaria.	
Tópicos de base.	• Biofortificación de alimentos. • Estudios de seguridad alimentaria enfocados en el nivel de acceso a alimentos. • Procesamiento térmico para incrementar el valor nutricional. • Surfactantes bioquímicos, probióticos, prebióticos y simbiótico. • Empaques antimicrobianos para comidas. • Trazabilidad de mercurio, cambio climático y sistemas de alimentos.	
Tópicos emergentes.	• Ácidos grasos, contenidos de nutrientes, lecitina. • Métodos de evaluación de programas nutricionales. • Recubrimientos comestibles. • Caracterización de productos desde criterios de calidad, inocuidad y valor agregado. • Técnicas de identificación de residuos de compuestos en alimentos. • Soberanía alimentaria y desarrollo rural.	

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Scopus (s. f.)

Capacidades nacionales en seguridad alimentaria

En cuanto a capacidades en investigación, en la plataforma Siembra (s. f.), con información vinculada de Colciencias, se pueden consultar 175 grupos de investigación relacionados con el sector agropecuario, con las áreas temáticas de material de siembra y mejoramiento genético, alimentación y nutrición, y calidad e inocuidad. En la categoría A1 se encuentran clasificados 14 grupos; en la A, 8 grupos; en la B, 26 grupos; en la C, 38 grupos; en la D, 45 grupos, y 44 grupos no están categorizados.

La mayoría de los grupos están concentrados en Bogotá (45) y en los departamentos de Antioquia (25) y Valle del Cauca (20). Entre las instituciones con mayor número de grupos de investigación vinculados están la Universidad Nacional de Colombia con 36 grupos, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), con 16; la Universidad de Antioquia, con 9 y la Universidad de Nariño con 8).

Por otro lado, en el sistema de información de Colciencias, para 2015 se encuentran registrados 7 grupos de investigación relacionados específicamente con seguridad alimentaria, con 3 grupos clasificados en categoría C, 1 grupo en categoría B, 2 grupos en categoría D y un grupo sin clasificación.

De los 1.132 grupos de investigación registrados en la plataforma Scienti de Colciencias (s. f. c), se identifican 857 afines al sector agropecuario y agroindustrial. En la figura 17 se presenta la distribución de estos grupos de investigación por los programas nacionales de CTi formalizados en Colciencias, las principales entidades de investigación y el total de investigadores en la megatendencia de seguridad alimentaria. Se cuenta con 107 grupos de investigación vinculados a la megatendencia. Las principales organizaciones con mayor número de grupos de investigación relacionados con agroenergías son la Universidad Nacional de Colombia con 16 y la Universidad de Nariño con 35.

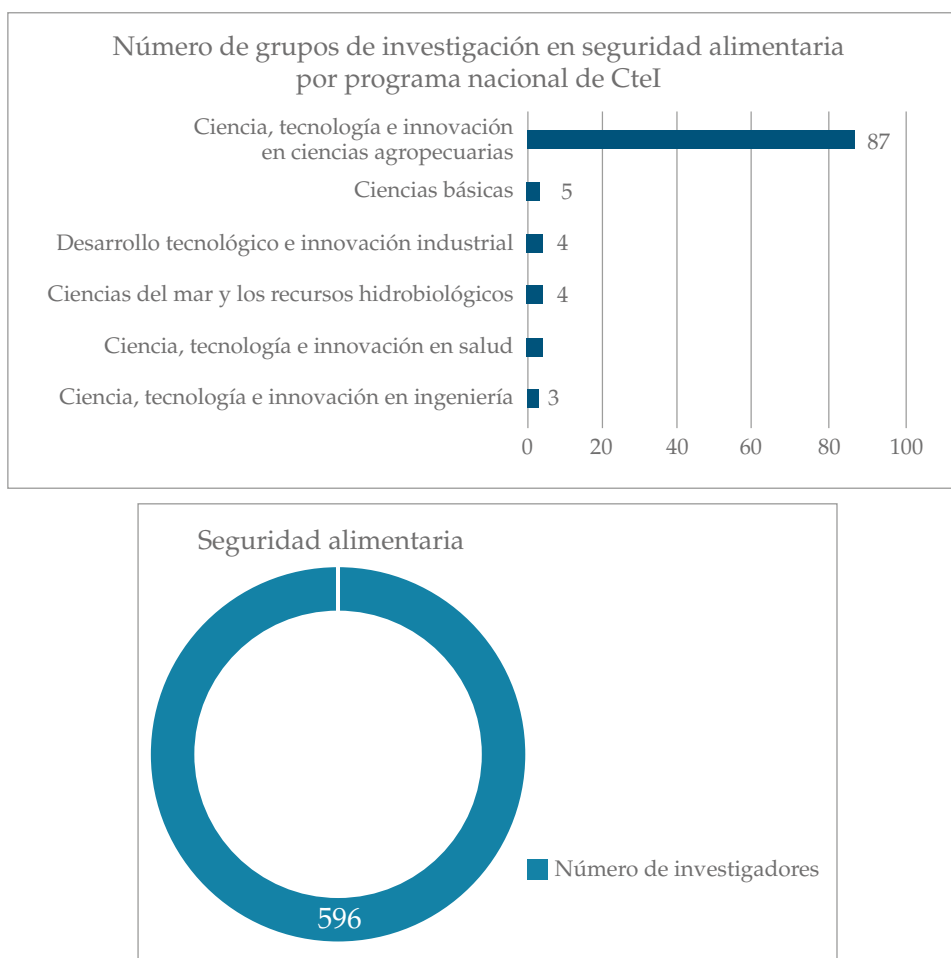


Figura 17. Capacidades nacionales en la megatendencias de seguridad alimentaria.
Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Colciencias (s. f.a)

Actores nacionales en seguridad alimentaria

El Observatorio de Seguridad Alimentaria y Nutricional en 2014 elaboró un mapa de actores involucrados con la seguridad alimentaria y nutricional en Colombia en un Encuentro Nacional de Redes, donde investigadores y expertos relacionaron los siguientes actores:

- Entidades públicas responsables de las políticas de orden nacional y territorial.
- Colciencias.
- Organizaciones campesinas.

- Observatorios locales.
- Asociaciones de consumidores y organizaciones de comercializadores.
- Centros de investigación, parques tecnológicos y centros de innovación.
- Organizaciones No Gubernamentales (ONG) y organizaciones culturales.
- Universidades, centros educativos, Servicio Nacional de Aprendizaje (Sena).
- Medios de comunicación (alternativos y convencionales).
- Cámaras de comercio.
- Industriales de agroquímicos, fertilizantes, insumos.
- Almacenes de superficies, tiendas y gremios.
- Grupos étnicos.

Una primera aproximación a la identificación de actores involucrados en el tema de seguridad alimentaria y nutricional, respecto a entidades gubernamentales, es la CISAN, la cual gestiona la Plataforma de Seguridad Alimentaria y Nutricional (PSAN) y el PNSAN. El MADR tiene a su cargo la coordinación de la CISAN, y en esta participan diferentes entidades: MSPS, ICBF, Instituto Colombiano de Desarrollo Rural, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Educación Nacional, Ministerio de Hacienda y Crédito Público, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, DNP, Departamento Administrativo para la Prosperidad Social (DPS), Asociación Colombiana de Facultades de Nutrición y Dietética (Acofanud), Agencia Nacional para la Superación de la Pobreza Extrema (ANSPE) y Cancillería.

Según información de la Cámara de Comercio, para 2013 en Colombia se encuentran registradas 2067 empresas dedicadas a la producción agropecuaria de alimentos y su respectiva comercialización mayorista y minorista, de las cuales el 12% está vinculado a la cría especializada de ganado vacuno; el 10%, a la producción de cereales y oleaginosas; el 9%, a la producción de caña de azúcar; el 7%, al comercio al por mayor de productos alimenticios, y el 7%, a actividades de servicios agrícolas y ganaderos.

Asimismo, 693 empresas elaboran productos alimenticios y bebidas, de las cuales, según código CIU, el 19% elabora otros productos alimenticios (sin clasificación previa); el 11%, productos de molinería; el 11%, productos lácteos; el 10%, productos cárnicos; el 9%, productos de panadería; 9%, aceites y grasas de origen vegetal y animal; el 4%, bebidas no alcohólicas y aguas minerales; el 3%, alimentos compuestos principalmente de frutas,

legumbres y hortalizas, y el restante 24 %, otra variedad de productos, como cacao, chocolate y productos de confitería, bebidas alcohólicas o fermentadas, panela, azúcar, café, pescado y almidones.

En el área regulatoria se encuentra el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (Invima), entidad encargada de inspección, vigilancia y control de los establecimientos productores y comercializadores durante las actividades asociadas con la producción, importación, exportación y disposición de alimentos para consumo, así como de la certificación de buenas prácticas y condiciones sanitarias para la producción de estos.

Por otra parte, son actores importantes los gremios de productores, entre los cuales es importante nombrar a Fenalce, Federación Nacional de Arroceros (Fedearroz), Federación Colombiana de Ganaderos (Fedegán), Federación Nacional de Avicultores de Colombia (Fenavi), Asociación Colombiana de Porcicultores (Asoporcicultores), Federación Nacional de Productores de Papa (Fedepapa), Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia (Asocaña), Asociación Nacional de Productores de Leche (Analac), Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma), Federación Nacional de Productores de Panela (Fedepanela) y Asociación Hortifrutícola de Colombia (Asohofructol), y a las entidades que agrupan gremios como la Sociedad de Agricultores de Colombia y la Asociación Nacional de Industriales. Otros actores relevantes son los que hacen parte de procesos vinculados a investigación del sector agropecuario, por ejemplo, AGROSAVIA, Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma), Centro de Investigación de la Agricultura de Colombia (Ceniacua), Centro de Desarrollo Tecnológico de la Cadena Agroalimentaria de la Papa (Cevipapa), Centro de Investigación en Caña de Azúcar (Cenicaña), entre otros.

Construcción de directrices estratégicas

Teniendo en cuenta que la implementación de la metodología del capítulo II se realiza en una megatendencia, se siguió la ruta 2 (figura 2) para el diseño de futuros. Se identificaron a partir de los resultados de las fases previas, 27 limitaciones y 12 oportunidades, que sirvieron como insumo para la construcción de 29 lineamientos estratégicos de base, los cuales se clasificaron en los siguientes ejes temáticos:

- Disponibilidad de alimentos: 9 lineamientos.
- Calidad e inocuidad de los alimentos: 6 lineamientos.
- Tendencias de consumo: 8 lineamientos.
- Transversales: 6 lineamientos.

A manera de ejemplo, se muestra cómo a partir de las oportunidades (O) y limitaciones (L) se construyeron las estrategias de base:

O: oferta excepcional de biodiversidad y recursos genéticos, abundantes fuentes de agua y una generosa dotación de suelos productivos, lo que favorece el desarrollo de sistemas de producción más continuos con una mayor y más rápida producción de biomasa, en comparación con los agroecosistemas templados de otras latitudes.

L: estacionalidad de la producción, bajos volúmenes y poca regularidad de producción de frutas y hortalizas.

Lineamiento estratégico de base: diversificar los sistemas productivos con especies autóctonas o variedades mejoradas con mayores contenidos de micronutrientes adaptados a las condiciones ambientales; también, con características que contribuyen a incrementar la sostenibilidad de los sistemas de producción (adaptación a las condiciones ambientales locales, tolerancia a sequía, salinidad, acidez y temperaturas extremas, resistentes a plagas o resistentes o tolerantes a enfermedades), incluyendo esquema de disponibilidad de semilla de calidad o plántulas.

Una vez identificados los lineamientos base, fueron sometidos a análisis y revisión por parte de actores clave en mesas de trabajo, relacionados con los cuatro ejes temáticos y según su experiencia y percepción, en un taller para definir estrategias que permitirán fortalecer el plan estratégico del sector en el corto, mediano y largo plazo.

Se definieron en total 31 directrices estratégicas (ver anexo 1) en seguridad alimentaria y nutricional, de las cuales 9 son de disponibilidad de alimentos, 7 de calidad e inocuidad, 7 de tendencias de consumos proceso de transformación, y 7 transversales. Como ejemplo, se describen algunas de las estrategias definidas:

Disponibilidad de alimentos

Desarrollar tecnologías apropiadas para aumentar la productividad y eficiencia en sistemas de agricultura a pequeña y gran escala (por ejemplo, para el uso eficiente de recurso hídrico, uso y adaptación de infraestructuras y tecnologías en sistemas de riego, manejo de la fertilidad del suelo y recuperación de suelos degradados).

Calidad e inocuidad

Implementación de sistemas de trazabilidad estandarizados, para la gestión de información a lo largo de las cadenas productivas agroalimentarias, complementados con estudios de exposición humana y animal a contaminantes físicos, químicos y biológicos.

Tendencias de consumo

Fortalecer sistemas productivos locales que rescaten los saberes ancestrales en torno a la alimentación, para mejorar el consumo de alimentos y la nutrición entre los pequeños productores, a través del aprovechamiento de productos autóctonos y agricultura familiar.

Temas transversales

Alternativas de solución a los problemas de generación de valor de los encadenamientos productivos que optimicen la distribución y comercialización de los productos agropecuarios y agroindustriales con calidad e inocuidad.

Perspectivas de futuro

- Para el 2026, el SNCTA estará fortalecido y actuando en forma articulada a todos los niveles con alto impacto en los estándares de la calidad e inocuidad de alimentos producidos y consumidos en el país.
- La posición geográfica y las condiciones tropicales que se ofrecen a la agricultura colombiana constituyen un potencial natural que se expresa en un régimen climático favorable que benefician el desarrollo de más cosechas, el mejor establecimiento de cultivos permanentes y una mayor diversificación de la producción.

- Condiciones climáticas favorables, gran variedad de pisos térmicos y amplia dotación de recursos naturales, lo que genera condiciones agroecológicas diversas, determinando las posibilidades de producción de una gran variedad de productos en diferentes regiones del país.
- Oferta excepcional de biodiversidad y recursos genéticos, abundantes fuentes de agua y una generosa dotación de suelos productivos, lo que favorece el desarrollo de sistemas de producción más continuos con una mayor y más rápida producción de biomasa, en comparación con los agroecosistemas templados de otras latitudes.

Conclusiones

La importancia de la seguridad alimentaria y nutricional ha sido abordada por distintas entidades y organismos nacionales e internacionales, y se ha hecho hincapié en los temas de disponibilidad de alimentos, acceso y calidad e inocuidad. En la última década, el concepto de seguridad alimentaria ha evolucionado para estar acorde con las nuevas exigencias de los mercados y consumidores; además, las estrategias para su fortalecimiento se han centrado en el enfoque de no solo el abastecimiento, sino también del acceso y oferta permanente de alimentos que deben satisfacer necesidades básicas nutricionales con parámetros de calidad.

Por otra parte, aún es necesario que desde las actividades de CTi se resuelvan para la seguridad alimentaria las siguientes interrogantes:

- ¿Cómo los sistemas pecuarios intensivos deben ser diseñados para minimizar la propagación de enfermedades entre animales y el riesgo de emergencia de nuevas enfermedades en humanos?
- ¿Cuál es la contribución potencial de sistemas de producción de alimentos localizados en la sostenibilidad global de los sistemas de alimentación?
- Con el aumento de los precios de la energía, ¿cómo puede la agricultura incrementar su eficiencia, usar menos insumos y fertilizantes, para ser económicamente sostenible y ambientalmente sensible, y aun así poder alimentar a la creciente población mundial?
- ¿Cuáles son los mejores mecanismos institucionales para manejar los inventarios de alimentos, almacenamiento, distribución y sistemas de derecho para garantizar suplementos continuos y sostenibles de alimentos?

- ¿En qué condiciones pueden las políticas de salud afectar exitosamente las dietas de los consumidores para promover los alimentos saludables como medicina preventiva?
- ¿Adicional a la producción pecuaria, cómo puede la actividad acuícola continental y costera contribuir a un modo más sostenible de producción de proteína animal en países en desarrollo?
- ¿Qué programas son más efectivos para promover acceso amplio a alimentos saludables a través de diferentes los diferentes grupos socioeconómicos?

2:57 p.m.
motc.hosted.exlibrisgroup.com

AgroExplora

Invitado

Mi cuenta

Iniciar sesión

Español

Buscar

mosca blanca

Refinar mis resultados

Ver bx Hot articles

Resultados 1 - 10 de 167 para

TODOS LOS RECURSOS

Ordenado por: Relevancia

Desarrollo de un bioplaguicida para el control de la mosca blanca *Bemisia tabaci*

Espinel Correal, Carlos Villamizar Rivero, Laura; Torres, Lissette; Grijalva Bernal, Erika; Denis Lozano, María; Cotes Prado, Alba Marina; López Ávila, Ana; García González, Javier; González, Victoria; Forero, Andrés; Anías, Juan Alberto; Gómez, Jesús; Rivas, Felipe; Lopera, Dimas; Guzmán, Arboney; Barrios, Lucio

Recurso electrónico. La Biblioteca tiene ejemplares



Encuentro con el Agro: recomendaciones para controlar la mosca blanca en el melón

Investigación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Colombia)

Recurso electrónico

En este capítulo se describen los resultados de la implementación de la metodología descrita en el capítulo II, para la megatendencia tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC). Se generó como punto de partida la base conceptual relacionada con el término *TIC* en el ámbito mundial, para el posterior análisis de los entornos científico-tecnológico, político-normativo y socioeconómico, como caracterización del contexto de la megatendencia. Posteriormente, se especifican los tópicos clave de investigación en el ámbito internacional y nacional, las capacidades nacionales para el desarrollo de esfuerzos en ciencia, tecnología e investigación (CTi) en esta megatendencia. Finalmente, a partir de estos insumos se presentan las directrices clave y perspectivas de futuro, construidas por expertos y actores primordiales de la megatendencia, que se convierten en insumo para la formulación de política pública.

Elementos conceptuales

Las TIC se definen colectivamente como:

(...) innovaciones en microelectrónica, computación (hardware y software), telecomunicaciones y optoelectrónica –microprocesadores, semiconductores, fibra óptica– que permiten el procesamiento y acumulación de enormes cantidades de información, además de una rápida distribución de la información a través de redes de comunicación. La vinculación de estos dispositivos electrónicos, permitiendo que se comuniquen entre sí, crea sistemas de información en red basados en un protocolo en común. Esto va cambiando radicalmente el acceso a la información y la estructura de la comunicación, extendiendo el alcance de la red a casi todo el mundo (Cobo-Romaní, 2009, p. 305).

En el caso particular del sector agropecuario, la información y comunicación han estado siempre presentes como una manera de fortalecer las actividades relacionadas con la ganadería, la acuicultura, la acuicultura y los agronegocios. Allí, para algunos actores el acceso a mecanismos que les permitan responder preguntas como cuál es la mejor estrategia de cultivo, dónde puedo acceder a semillas mejoradas o diferenciadas, cómo es posible acceder a títulos de tierra, quién paga el mejor precio del mercado y dónde, cómo puedo participar en programas de crédito e incentivo del Gobierno, cuál es la previsión climática para mi zona, cómo puedo manejar X fertilizante o combatir Y enfermedad o Z plaga no siempre es fácil en un entorno dinámico y cambiante.

Las TIC en el agro pueden ser generalizadas como equipos, herramientas o aplicaciones que permitan el intercambio de información y datos a través de procesos de interacción y transmisión. Así, se abarcan tecnologías desde la radio hasta imágenes satelitales, tecnologías móviles y banca electrónica (*e-commerce* y *e-banca*), que se integran a desarrollos tecnológicos específicos (biotecnologías, nanotecnología, productividad, etc.); de esta manera, se cumplen tres características: 1) accesibilidad; 2) asequibilidad, y 3) adaptabilidad para la integración con infraestructura, servicios y actores, lo que da respuesta a necesidades específicas.

El fortalecimiento de las TIC en Colombia (Ley 1341 del 30 de julio de 2009)¹⁷ es una respuesta a un entorno dinámico y cambiante donde las tendencias mundiales de fortalecimiento buscan consolidar la estrategia de gobierno en línea, fortalecer la infraestructura de tecnología de la información (TI) a través de la masificación de la banda ancha, fortalecimiento de los programas de investigación en TIC, difusión de estas últimas en usuarios empresariales, gubernamentales y sociedad civil, capacitación en dichas tecnologías, desarrollo de contenidos digitales especializados, incentivos para la adopción y apropiación de las TIC.

¹⁷ Para más información, puede verse: https://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-3707_documento.pdf

Elementos clave del contexto de la megatendencia para Colombia

El entorno político-normativo de las TIC en Colombia tiene como máximo ente rector al Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC), desde donde se establecen las directrices de política y se soporta la normatividad. Acorde con el esquema organizacional e institucional de las TIC y su interacción con el sector agropecuario, a nivel nacional el marco de referencia establecido a nivel ministerial (MinTIC y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]) es la iniciativa TIC+Agro, que busca orientar un marco normativo para el desarrollo de actividades en CTi acotadas en nueve ejes temáticos (demandas) (Flórez-Martínez & Uribe-Galvis, en prensa): 1) desarrollo e implementación de sistemas de información TI para los procesos de planificación rural agropecuaria, como apoyo de los entes territoriales;¹⁸ 2) desarrollo e implementación de soluciones TI de agricultura de precisión o agricultura específica por sitio; 3) desarrollo e implementación de soluciones TI que contribuyan a la captura y al procesamiento de información en campo; 4) desarrollo e implementación de soluciones TI enfocadas a la gestión de información de mercados agrícolas, agroindustriales, pecuarios, avícolas, forestales, acuícolas y pesqueros, como manejo de insumos, procesos de logística, trazabilidad de productos, *e-marketing*, *e-commerce* y *e-business*; 5) desarrollo e implementación de soluciones TI enfocadas a la gestión de la propiedad de la tierra rural; 6) desarrollo e implementación de soluciones TI para difusión, acceso, distribución, consulta y registro bidireccional de contenidos que utilicen tecnologías o medios, como mensajes cortos de texto (SMS), servicios de datos no estructurados suplementario (USSD) y respuesta interactiva por voz (IVR); 7) desarrollo e implementación de soluciones TI que fomenten la gestión del conocimiento en el sector agropecuario y mejoren los procesos de asistencia técnica actuales; 8) desarrollo e implementación de soluciones TI relacionadas con *Big data* y *cloud computing* dirigidas al sector agro, y 9) desarrollo e implementación de soluciones TI para la gestión de información climática en procesos de cultivo.

¹⁸ Entidades territoriales: personas jurídicas, de derecho público, que componen la división político-administrativa del Estado, y que gozan de autonomía en la gestión de sus intereses. Son entidades territoriales los departamentos, municipios, distritos y los territorios indígenas (puede consultarse en: <http://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/article-82749.html>).

Estas categorías de demandas se enmarcan en el enfoque de e-agricultura, el cual “(...) se define como el diseño, uso, apropiación e integración de infraestructura, tecnologías, servicios como computadores, tabletas, servidores, equipos de telefonía móvil, satélites, antenas de difusión de telecomunicaciones, aplicaciones, sistemas de información, sistemas de gestión de conocimiento y plataformas digitales para permitir, soportar y potenciar la producción agrícola y pecuaria” (Deloitte, 2012, p. 18).

El contexto político-normativo del sector TIC en Colombia tiene como máximo ente rector al MinTIC, desde donde se establecen las directrices de política y se soporta la normatividad. Desde 2006, el Gobierno inició una revisión interna del marco normativo para acotarlo a la dinámica institucional y del mercado, a los rápidos cambios tecnológicos del entorno y a la masificación del enfoque de política pública hacia una masificación económica, social y geográfica.

El documento base del cambio normativo en la política del sector es el de la Ley de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (Ley 1341/09), la cual reconoce

(...) la promoción del acceso, uso y apropiación de las tecnologías de la información y las comunicaciones, el despliegue y uso eficiente de la infraestructura, el desarrollo de contenidos y aplicaciones, la protección a los usuarios, la formación de talento humano en estas tecnologías y su carácter transversal son pilares para la consolidación de las sociedades de la información y del conocimiento e impactan en el mejoramiento de la inclusión social y de la competitividad del país. (Guerra de la Espriella & Oviedo-Arango, 2011, p. 8)

Esta ley contempla aspectos relacionados con principios de mediano y largo plazo con incidencia gubernamental y empresarial, un marco institucional unificado, un marco reglamentario claro y un régimen de transición. Su estructuración tuvo como base las orientaciones a nivel mundial sobre convergencia tecnológica, que hace referencia a la disminución de barreras de entrada, al surgimiento de nuevos modelos de negocio, a la reducción de los costos de prestación del servicio y a la ampliación de la gama de servicios ofrecidos a los usuarios; todo esto como promoción de procesos de consolidación empresarial para que el marco legal cumpla con:

- Provisión de diferentes servicios a través de diversas plataformas.
- Entornos competitivos enfocados en maximizar el bienestar social.

- Servicios múltiples para disminuir costos de transacción.
- Regímenes integrales en materia de inhabilitación.
- Neutralidad tecnológica.¹⁹

Los pilares clave de la ley son: 1) habilitación de redes y servicios en telecomunicaciones; 2) acceso y gestión eficiente del espectro radioeléctrico; 3) redefinición de la política del servicio universal; 4) régimen se subsidios, y 5) asumir el marco conceptual de la sociedad de la información y el conocimiento, y lograr así una visión holística de la provisión de infraestructura TI, del desarrollo de contenidos y de los procesos de innovación.

En el contexto socioeconómico, a nivel nacional la medición de la eficiencia y el grado de avance de la sociedad de la información se realiza multilateralmente en los pilares de las TIC en cuanto a: 1) infraestructura; 2) acceso y uso de hogares; 3) uso en empresas y sector productivo; 4) educación, y 5) Gobierno electrónico. En la tabla 28 se presentan los principales indicadores para Colombia en estos pilares.

Tabla 28. Indicadores de tecnologías de la información y las comunicaciones en Colombia

	Indicador	Valor	Perspectivas
Contexto	Producto interno bruto (PIB).	3,16 % en 2011.	Incremento sostenible de los recursos económicos.
	Inversión extranjera en el sector frente al total nacional.	4,2 % en 2007.	
Infraestructura	Suscripciones de telefonía móvil por cada 100 habitantes. Porcentaje de penetración de telefonía móvil nivel nacional.	100,4 % en 2013.	Sostenibilidad en el crecimiento de la infraestructura y cobertura en TIC y TI.
	Suscripciones fijas a internet de banda ancha por cada 100 habitantes. Porcentaje de penetración internet fijo banda ancha.	9,0 % en 2013.	

(Continúa)

¹⁹ Principio normativo y regulatorio según el cual el Estado garantiza “la libre adopción de tecnologías, teniendo en cuenta recomendaciones, conceptos y normativas de los organismos internacionales competentes e idóneos en la materia, que permitan fomentar la eficiente prestación de servicios, contenidos y aplicaciones que usen las TIC y garantizar la libre y leal competencia, y que su adopción sea armónica con el desarrollo ambiental sostenible” (artículo 2, Ley 1341/09).

	Indicador	Valor	Perspectivas
Infraestructura	Suscripciones de internet móvil por cada 100 habitantes. Porcentaje de penetración de internet móvil nivel nacional.	8 % en 2013.	Sostenibilidad en el crecimiento de la infraestructura y cobertura en TIC y TI.
	Banda ancha internacional, kb/s por usuario. Ancho de banda inter. de internet potencialmente disponible para cada habitante de un país.	16,8 % en 2012.	
	Cobertura de la red de telefonía móvil a la población. Este indicador mide el porcentaje de habitantes que se encuentra en el rango de la señal móvil, sean o no suscriptores.	83,0 % en 2012.	
Acceso y uso hogares	Porcentaje de hogares con un computador. Porcentaje de computadores (no el uso) en casa por hogares.	38,4 % en 2012.	Crecimiento significativo en la cobertura para la población.
	Porcentaje de hogares con acceso a Internet. Porcentaje de acceso a internet (no el uso) en casa por hogares.	32,12 % en 2012.	
	Porcentaje de hogares con acceso a Internet por tipo de acceso: 1) porcentaje conexión internet móvil; 2) porcentaje hogares conexión internet fijo, y 3) porcentaje hogares conexión internet fijo-móvil.	9,9 % 25,1 % 2,8 % en 2012.	
	Frecuencia de uso individual de internet en los últimos 12 meses: 1) todos los días de la semana; 2) al menos una vez a la semana, pero no cada día, y 3) al menos una vez al mes, pero no cada semana.	46 % 42,6 % 11,3 % en 2012.	

(Continúa)

	Indicador	Valor	Perspectivas
Indicadores TIC en la educación	Estudiantes por computadores en las escuelas.	15 en octubre de 2013.	Fortalecimiento de las TI en el sector educativo, para dinamizar las nuevas formas de enseñanza.
	Porcentaje de escuelas con acceso a internet por tipo de acceso.	16 % en octubre de 2013.	
	Porcentaje de alumnos que tienen acceso a internet en la escuela.	70 % en marzo de 2012.	
	Porcentaje de profesores cualificados en TIC en las escuelas.	22,17 % en octubre de 2013.	
Gobierno electrónico	Porcentaje de organizaciones gubernamentales con presencia en internet con su propio sitio web o con el sitio web de otra entidad.	97 % en marzo de 2013.	
	Porcentaje de organizaciones gubernamentales que ofrecen plataformas de servicios a usuarios, según tipo de plataforma disponible: web, teléfono fijo, fax y teléfono móvil.	100 % en marzo de 2013.	Liderazgo en la región a partir de un marco unificado de TI (ColombiaTIC, s. f.).
	Porcentaje de organizaciones gubernamentales que ofrecen servicios en línea, según tipo de actividad.	97 % en marzo de 2013.	

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC, 2013)

En el sistema de estadísticas del programa Vive Digital del MinTIC, se consolidan para el sector los siguientes datos (ColombiaTIC, s. f.):

- Total de suscriptores a internet: 10.724.422, primer trimestre de 2015.
- Suscriptores a internet banda ancha y banda angosta: 5.253.961 y 57.148, respectivamente, primer trimestre de 2015.
- Tipo de acceso a internet: internet fijo 5.311.109 e internet móvil 5.413.313, primer trimestre de 2015.
- Penetración de internet: 22,3 %, último trimestre de 2014.

- La inversión en tecnologías de la información a junio de 2015 era del 2,8 % frente al total nacional equivalente a 1.404.054 pesos, de los cuales el 25,67 % se destinó a aplicaciones-software; el 32,03 %, a infraestructura-hardware, y el 42,31 %, a servicios.
- Del total de inversión, el 2,2 % se destinó al sector agropecuario y el 0,57 %, a ciencia y tecnología.

En el contexto científico-tecnológico, el sistema de consulta de Elsevier,²⁰ Scopus (s. f.), registra en su esquema de indexación, desde 1927 hasta la fecha, 61.124 publicaciones. En la tabla 29 se presenta el análisis de esta capacidad productiva.

Tabla 29. Producción intelectual en investigación Colombia para tecnologías de la información y las comunicaciones

Criterio	Datos
Número de publicaciones totales de Colombia.	• 61.124: 45.346 artículos indexados, 9.073 actas de conferencia, 2.928 reseñas, 679 notas editoriales, 614 capítulos de libro, 153 artículos <i>in press</i>, 152 estudios breves y 38 libros. • Colaboración con otros países como Estados Unidos, España, Brasil, Reino Unido, Francia, México, Alemania, Argentina, Canadá, entre otros. • Entidades líderes: Universidad Nacional de Colombia (13.893), Universidad de Antioquia (7.419), Universidad de los Andes (5.456), Universidad del Valle (4.789), Pontificia Universidad Javeriana (2.916), Universidad Industrial de Santander (2.439), Centro Internacional de Agricultura (CIAT) (1.379). • Entidades en colaboración con otros países: Lomosov Moscov State University (1.297), Boston University (1.218), Institut fiziki vysokikh energii (1.270), Alikhanov Institute for Theoretical and Experimental Physics (1.220), Universidade de Sao Paulo (1.201)
Número de publicaciones en áreas TIC.	• Ciencias de la computación: 5.294. • Ingeniería: 9.172.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Scopus (s. f.)

²⁰ Editorial líder en la divulgación de información científica y tecnológica. Para más información puede verse: <http://www.elsevier.es/>.

Las directrices de base para el desarrollo de iniciativas de I+D+i se identifican a través del análisis de documentos sectoriales, institucionales y de política pública, específicos o afines a la megatendencia. El objetivo de este análisis es establecer el marco de referencia sobre el cual deben ser formulados los proyectos de ciencia, tecnología e información (CTi).

Contexto internacional

Las TIC en agricultura o e-agricultura se definen como diseño, uso, apropiación e integración de infraestructura; tecnologías, servicios como computadores, tabletas, servidores, equipos de telefonía móvil, satélites, antenas de difusión de telecomunicaciones, aplicaciones, sistemas de información, sistemas de gestión de conocimiento y plataformas digitales para permitir, soportar y potenciar la producción agrícola (Deloitte, 2012). Todo esto a través del intercambio de información entre actores, desde proveedores de insumos, productores, transformadores, comercializadores, hasta investigadores, servicios técnicos (extensión y asistencia técnica) y servicios gubernamentales, principalmente.

El rol principal de la e-agricultura es alcanzar niveles de accesibilidad y asequibilidad adecuados a las necesidades del sector, de tal manera que se perciba un impacto tangible en productividad y competitividad. La accesibilidad es entendida como la actualización y ampliación de la cobertura de las redes de comunicación, así como la universalidad en la disponibilidad de esta en requerimientos y estándares mínimos en todas las zonas geográficas de incidencia, basada en políticas de gobierno (Gasmi & Recuero-Virto, 2005).

Estas políticas de acceso deben orientarse hacia el beneficio y la sostenibilidad, en primer lugar, de los productores y su interrelacionamiento con otros actores. En este punto, es importante considerar aspectos no solo de tipo técnico, sino también socioeconómico y cultural. Acorde con Clement y Shade (2000), el acceso a las TIC debe abordar un marco de referencia de contenidos locales TIC, habilitadores TIC, alfabetización TIC, niveles de uso y mecanismos de gobernanza. En la figura 18, se presenta el “arcoíris de acceso en TIC”, que integra las diferentes instancias que representan esta condición.

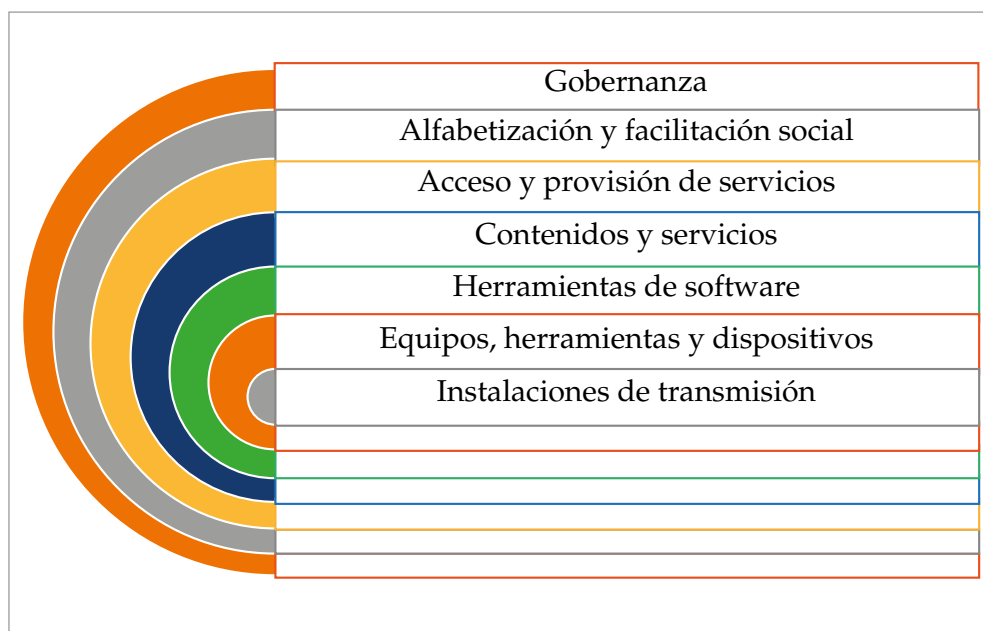


Figura 18. Arcoíris de acceso a infraestructura, accesorios y servicios en tecnologías de la información y las comunicaciones.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Clement y Shade (2000)

A continuación, se amplían las instancias del arcoíris:

- Instalaciones de transmisión: capacidad de redes instaladas y requeridas; nivel de conectividad alcanzado y requerido, y estándares de interoperabilidad vigentes (acceso a infraestructura).
- Equipos, herramientas y dispositivos, herramientas de software: oferta de dispositivos y aplicativos tecnológicos afines al sector y sus diferentes actores, pertinencia, usabilidad, asequibilidad y soporte (accesos a infraestructura).
- Contenidos y servicios, facilitadores, proveedores y gobernanza: el acceso cubija la disponibilidad de contenidos para usuario final, acceso a servicios apropiados para actores que inician su contacto con las TIC, instalaciones para aprendizaje y desarrollo de redes, canales de comunicación para participar en decisiones respecto a servicios de telecomunicaciones, inclusión social, etc.

Considerando la naturaleza multinivel del acceso y asequibilidad a la infraestructura en TIC, se deben considerar como estrategias las alianzas entre los diferentes actores del Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA) y otros actores transversales del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, con diferentes especialidades y capacidades en relación con la

megatendencia TIC y con diferentes papeles en el marco público-privado. Estas alianzas deben alinearse con la regulación y los retos de política para la expansión de las TIC en cuanto a la oferta tecnológica, el licenciamiento, los subsidios, el marco de impuestos y la normatividad de uso y la protección al usuario, entre otros aspectos.

Finalmente, el grado de desarrollo tecnológico necesario para esa “milla final”, que implica la infraestructura *in situ* en el contexto rural de los productores, supone los mayores costos y retos de articulación de tecnología disponible de banda ancha, redes móviles 2G, 3G, 4G, banda ancha inalámbrica Wimax, wifi y WLAN, terminales tipo satélite de apertura pequeña,²¹ entre otras tecnologías.

La necesidad concreta del enfoque TIC en el agro recae principalmente (sin limitarse) en el mercadeo de los productos, en el acceso a nuevos mercados, en la diferenciación, el valor agregado y la creación, transferencia y aplicación de conocimiento que le alcance al productor para la modernización y el cambio técnico de la agricultura a pequeña y mediana escala.

De acuerdo con estudios del Overseas Development Institute (ODI) (citados en Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones [MinTIC], 2015), las TIC pueden aportar al sector agropecuario en cuanto a: 1) desarrollo económico de productores; 2) desarrollo comunitario; 3) investigación y educación, y 4) desarrollo empresarial y *networking*, a través de la generación de servicios y productos como: 1) servicios en línea; 2) comercio electrónico; 3) redes sociales de interacción de productor / asistencia técnica / investigador; 4) servicios de información en tiempo real; 5) servicios FAQ; 6) bases de datos y sistemas de alertas tempranas; 7) servicios gubernamentales, y 8) *e-learning*, principalmente (Overseas Development Institute [ODI], 2004).

La orientación TIC en el agro, desde la perspectiva de las tecnologías móviles para el acceso a datos, información y conocimiento, busca la transformación del tradicional paisaje rural en factores que incrementen la productividad y el acceso a mercados con beneficios en el denominado *círculo virtuoso* (Department of Information Systems, 2018):

²¹ Tipo de antena para comunicación de datos vía satélite y por extensión a las redes que se sirven de esta, normalmente para intercambio de información punto a punto, punto a multipunto (*broadcasting*) o interactiva.

- Acceso: expansión de redes móviles para innovaciones técnicas y financieras, lo que amplía el área de cobertura de los desarrollos.
- Asequibilidad: conectividad prepagada, financiación de equipos, equipos diversificados con precios asequibles (tecnologías chinas), alternativas en diferentes gamas.
- Accesorios: heterogeneidad en el portafolio de equipo y complementos.
- Aplicaciones: servicios que abarcan desde mensaje de texto (sms), hasta software especializado para dispositivos móviles y servicios en tiempo real.

La tecnología móvil busca ayudar a los productores a mejorar sus ingresos, y de esta manera el acceso a la información optimiza su lugar de negociación en las relaciones comerciales, así como la búsqueda de nuevos mercados y aliados estratégicos. Asimismo, mejora sus indicadores de producción a través de información y alertas tempranas para la previsión del clima, y obtiene consejos y recomendaciones técnicas sobre manejo de insumos e información de acceso a beneficios e información. La especialización de las aplicaciones cobija tres categorías:

- Aplicaciones de software independiente: se descargan directamente al aplicativo.
- Aplicaciones soportadas por un ecosistema que las soporte: servidores, software en dispositivos fijos, etc.
- Aplicaciones diseñadas para plataformas específicas que son en sí mismas una aplicación.

Las aplicaciones diseñadas para dispositivos móviles abarcan diferentes orientaciones específicas de la actividad agropecuaria, principalmente, con el enfoque de provisión de servicios a través de sms sobre alertas del mercado en oferta y demanda de productos, mensajes de actores asistentes técnicos y extensionistas, sondeo de actividades propias de la unidad productiva, seguimiento y recomendaciones, esquemas de monitoreo y reportes de rendimientos, y conexión con aplicativos en línea para personalizar espacios web especializados en canales de comercialización. En las diferentes plataformas de aplicaciones móviles (Apple Store, PlayStore, WindowsPhone Store, Appworld-Blackberry) se presenta una oferta diversa y variada, que está sujeta a evaluación por parte de los actores del sector nacional en cuanto a su utilidad y adaptabilidad al contexto.

Por otro lado, las TIC, como herramienta clave para el sector agropecuario, se pueden categorizar en siete enfoques, acordes con la especificidad de la oferta tecnológica:

- Sensores inalámbricos y aplicaciones de redes en agricultura (Rehman, Zafar, Islam, & Shaikh, 2014): tecnologías para la recolección de datos del clima, suelos, monitoreo del uso y distribución del territorio, gestión de multicultivos, soluciones proactivas en cuanto a gestión de insumos. Tecnologías específicas por variables como: 1) sensores del suelo para medición de temperatura, humedad, permisividad dieléctrica, niveles y flujos de pluviosidad, niveles de agua, conductividad y salinidad; 2) sensores para las plantas para medición de fotosíntesis, humedad, hidrógeno, dióxido de carbono, temperatura, humedad; 3) clima, medición de temperatura, humedad, presión atmosférica, velocidad del viento, dirección del viento. Las redes de sensores se soportan en tecnologías ZigBee, bluetooth, Wibree y wifi, así como aplicaciones WSN (redes inalámbricas de sensores) y WSN (redes inalámbricas de sensores y actores) que integran GPS, GIS, KMS, DSS, etc.
- Mapeo espacial de cultivos (Lee et al., 2010): sistemas de imágenes multiespectrales vía satélite, monitoreo de cosecha como fuente de datos para actualización en tiempo real del modelo del cultivo, medición de índices de vegetación circundante. Máquina de color para la detección y el seguimiento de factores de cultivo bajo espectros de luz específicos (usualmente RGB), usada en agricultura de precisión en descubrimiento de malezas para aplicación específica por sitio de herbicidas, detección de frutas para soporte a recolección automatizada por robots. Termografía para hallar inflorescencias, soportada en detección de colores. Escaneo laser, sensores de ultrasonidos, niveles de luz,
- Tecnologías para medición en cultivo (Lee et al., 2010): medición de nutrientes y otras características, incluyendo infrarrojo en el espectro cercano, espectrofotometría de masas por infrarrojo, librerías espectrales, electrodos, imágenes térmicas, microondas y fluorescencia
- Detección foliar de enfermedades (Lee et al., 2010): comparación de la interacción de ondas electromagnéticas con las plantas para la medición de absorción, emisión, transmisión y fluorescencia, usando técnicas específicas de contraste entre plantas sanas y plantas infectadas.
- Tecnologías de identificación de radio frecuencia para trazabilidad (Lee et al., 2010): tecnologías basadas en la recolección, el almacenamiento y la difusión de datos en tiempo real, a través de la emisión de radio

frecuencias que permiten captar datos específicos de variables como temperatura, humedad y condiciones atmosféricas (ambientales y modificadas), directamente relacionadas con la calidad del producto. Los dispositivos o TAGS pueden ser pasivos que acumulan datos, o activos, que acumulan, emiten y reciben. Su aplicación se ha extendido principalmente a la cadena de suministros agroalimentaria en frutas y hortalizas, y tiene algunas experiencias en productos pecuarios e integración con la cadena de frío, BPM, BPA y HACCP.

- Tecnologías para el fortalecimiento de la extensión agropecuaria (Aker, 2011): potencialización de las tecnologías móviles, mensajería de textos cortos con información detallada, *call center* especializados, redes sociales servicios, entre otros, bajo el principio de comunicación en doble vía. 1) los servicios basados en voz incluyen información vía telefónica de acceso a mercados y métodos de cultivo (manejo integrado), a través de líneas especializadas y *call center*; 2) emisiones radiales y difusión de emisiones, información de mercados, franjas cortas de temas técnicos, menús de emisiones pregrabadas, canal de retroalimentación a través de mensajes de texto por parte de los productores; 3) servicios de extensión basados en mensajería de texto (sms), plataformas especializadas para recolección y difusión de información FAQ y personalizadas, paquetes de difusión y periodicidad determinada por el usuario, y 4) programas de educación virtual en telecentros, kioscos de internet, etc.
- Especializados: gestión de inventarios pecuarios a través de sistemas de información de factores de producción y genéticos.

Contexto nacional

Los ejes temáticos definidos por el MinTIC son: 1) desarrollo e implementación de sistemas de información TI para los procesos de planificación rural agropecuaria, como apoyo de los entes territoriales; 2) desarrollo e implementación de soluciones TI de agricultura de precisión o agricultura específica por sitio; 3) desarrollo e implementación de soluciones TI que contribuyan a la captura y al procesamiento de información en campo; 4) desarrollo e implementación de soluciones TI enfocadas a la gestión de información de mercados agrícolas, agroindustriales, pecuarios, avícolas, forestales, acuícolas y pesqueros, por ejemplo, manejo de insumos, procesos de logística, trazabilidad de productos, *e-marketing*, *e-commerce* y *e-business*; 5) desarrollo e implementación de soluciones TI enfocadas a la gestión de la

propiedad de la tierra rural; 6) desarrollo e implementación de soluciones TI para difusión, acceso, distribución, consulta y registro bidireccional de contenidos que utilicen tecnologías o medios como SMS, USSD e IVR, 7) desarrollo e implementación de soluciones TI que fomenten la gestión del conocimiento en el sector agropecuario y mejoren los procesos de asistencia técnica actuales; 8) desarrollo e implementación de soluciones TI relacionadas con *Big data* y *cloud computing*, dirigidas al sector agro, y 9) desarrollo e implementación de soluciones TI para la gestión de información climática en procesos de cultivo.

Tendencias en I+D+i en los contextos nacional e internacional

Las temáticas tendenciales en TIC para el sector agropecuario abarcan temas de sistemas expertos para la gestión de residuos pecuarios, sistemas de soporte para la toma de decisiones en cuanto al uso y la gestión de bioinsumos, manejo digital de información geográfica de cultivos, agricultura de precisión, bases de datos para *commodities*, sistemas de toma de decisiones para mecanización de procesos basados en georreferenciación, sistemas de información en seguridad alimentaria y en alertas tempranas epidemiológicas y sistemas de trazabilidad y gestión de la cadena de frío (Orozco & Llano, 2016). En la tabla 30 se presenta el cruce de oferta vs. demanda.

Tabla 30. Oferta vs. Demanda en tecnologías de la información y las comunicaciones para el sector agro

Orientaciones TIC-agro a nivel mundial	Tendencias en investigación mundial
Sensores inalámbricos, mapeo espacial de cultivos (AP, simulación edafológica, climática, etc.).	Sistemas expertos para la gestión de residuos pecuarios y toma de decisiones para el uso y la gestión de bioinsumos.
Sensores inalámbricos, mapeo espacial de cultivos: multiespectro satelital, medición IR, térmica, fluorescencia, robótica y drones.	Manejo digital de información geográfica de cultivos, agricultura de precisión.

(Continúa)

Orientaciones TIC-agro a nivel mundial	Tendencias en investigación mundial
Gestión unidades productivas, redes de sensores: ZigBee, bluetooth, Wibree y wifi; WSN WiMAX. Detección foliar de enfermedades.	Estudios de mapeos de variables climatológicas, edafológicas y biológicas, cadenas de suministros utilizando estas tecnologías.
Sensores inalámbricos, RFID para trazabilidad de productos, bases de datos, sistemas de alertas, sistemas de información, TI acotadas a la infraestructura disponible.	Bases de datos para <i>commodities</i> , sistemas de trazabilidad y gestión de la cadena de frío.
Georreferenciación, bases de datos, GPS, SIG, GIS, RFID, PDA, software como los ERP, SCM, etc.	Sistemas de toma de decisiones, Gobierno electrónico, acceso a servicios financieros.
Redes de productores, cultura y educación en TIC, acceso, asequibilidad, accesorios, aplicaciones móviles, TI en interoperabilidad, transmisión y control de información.	Sistemas de información especializados, articulación con infraestructura disponible.
Mensajería de texto especializada, <i>call center</i> , difusión radial, plataformas, kioscos, <i>e-learning</i> , paquetes de difusión.	<i>E-learning</i> , plataformas de información sectoriales.
Arquitectura estandarizada, datos abiertos, software compartido.	Software de análisis genético, codificación de ADN, mapeo genético.
Bases de datos y sistemas de alertas tempranas, sensores inalámbricos, integración de datos espaciales, seguimiento satelital, etc.	Modelamiento satelital de cultivos, modelamientos de nichos ecológicos.

(Continúa)

Orientaciones TIC-agro a nivel mundial	Tendencias en investigación mundial
Demandas TIC-agro Colombia	Tendencias en investigación nacional
Sistema de información para planificación rural agropecuaria territorial.	-
Soluciones en TI para agricultura de precisión o específica por sitio.	Software para el análisis de nutrientes en cultivos de cereales, sistemas de información geográfica en conservación y utilización de recursos filogenéticos, sistemas inteligentes para asesorar perturbaciones en los cultivos.
Soluciones TI para captura, procesamiento y distribución de información en campo.	Uso de bases de datos para parametrizar el uso de insumos en modelos productivos de cultivos.
Soluciones TI enfocadas a la gestión de información de mercados, cadenas de abastecimiento, trazabilidad, <i>e-commerce</i> , etc.	Modelos de seguimiento a suelos agrícolas. Código de barras para el ADN en planta.
Soluciones TI enfocadas a la gestión de la propiedad de la tierra rural.	-
TI para difusión, acceso, distribución, consulta y registro bidireccional de contenidos.	-
Soluciones TI que fomenten la gestión del conocimiento, asistencia técnica.	Viabilidad del uso de entornos virtuales de aprendizaje en el sector rural, modelos de toma de decisiones para la extensión agrícola.
Soluciones TI relacionadas con <i>Big data</i> y <i>cloud computing</i> .	Manejo de datos espaciales y multiespectro.
Soluciones TI para la gestión de información climática.	Monitoreo ambiental. Mapeo digital de suelos de cultivo. Agromapas.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información en Scopus (s. f.)

Contexto internacional

Las TIC en el entorno mundial para la agricultura se focalizan en atender a los productores como si fueran una unidad productiva tipo empresa (con su cadena de valor interna asociada a sus sistemas de producción y al sistema productivo que conforman) y su interrelación con otras unidades para conformar cadenas productivas.

Las TIC les ofrecen a las unidades productivas agropecuarias y agroindustriales, específicamente, tecnologías productivas con base digital, como la agricultura de precisión, e interactúan con el gobierno electrónico para tener sistemas de alerta, georreferenciación, redes agrometeorológicas, diagnóstico y asistencia técnica a distancia, seguimiento virtual de investigación e innovación, plataformas y sistemas de información y conocimiento, comunicaciones y transacciones digitales, comercio electrónico, redes y comunidades virtuales, educación electrónica, aplicaciones y servicios en la nube, sistemas de interoperabilidad y trazabilidad en cadenas agroalimentarias. La adopción de las TIC en el sector sigue los niveles descritos en la figura 19.

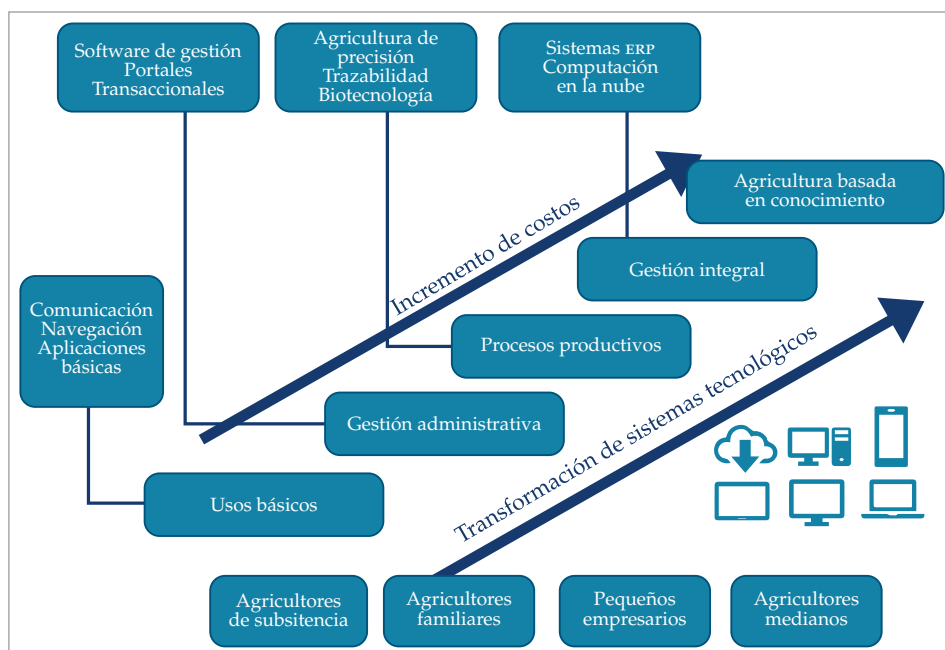


Figura 19. Niveles de adopción de tecnologías de la información y las comunicaciones en el sector agropecuario.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Nágel (2012)

La transición por estos estadios, así como los retos de adopción e implementación, presenta a los investigadores en esta megatendencia retos como:

- Exigencia del mercado en calidad e inocuidad, gestión de cadenas agroalimentarias.
- Presión sectorial para la adopción de TIC por parte de las nuevas generaciones de productores.
- Fomento digital desde el gobierno electrónico.
- Necesidades en TIC que permitan solventar externalidades del contexto, dinámicas cambiantes en los mercados internos y externos, mercados territoriales, mercados laborales, mercados financieros, mercados de riesgo e información técnica.

Así, pues, para el caso de la megatendencia TIC, se focaliza la investigación hacia necesidades operacionales a través de la instalación, el mantenimiento, la evolución y la remoción de sistemas de información, plataformas tecnológicas, sistemas de trazabilidad, sistemas de metrología, sistemas de meteorología, sistemas de zonificación y sistemas de posicionamiento global; también cabe destacar acá el diseño de base de datos de consultores, agronegocios y sectores productivos, acceso a tecnologías en zonas rurales, promoción del *e-commerce*, seguimiento y monitoreo de canales de comercialización, sistemas de información a través de redes de telefonía móvil, etc. Las TIC han abarcado la vida cotidiana de todos los sectores sociales en los países del mundo; sin embargo, esa informatización del contexto social no se ha producido de manera homogénea. Dado el peso que han demostrado estas tecnologías en el desarrollo a nivel mundial, cualquier proyecto de desarrollo de los países iberoamericanos debe incluir un análisis de las TIC, sus desarrollos, sus vínculos y potencialidades.

En la figura 20 se presenta la dinámica de la megatendencia TIC con énfasis en agricultura, en la cual para 2017 se registraron 40.191 publicaciones específicas. Los países líderes en el entorno global son Estados Unidos, China, Reino Unido, Alemania y Australia; las entidades destacadas son la Academia China de Ciencias, el CNRS Centre National de la Recherche Scientifique, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), y la Universidad de Wageningen, entre otros. En el contexto local de América Latina y el Caribe, Brasil lidera con 13.085 publicaciones, seguido de México con 4.108, Argentina con 3.019, Chile con 1.859 y Colombia con 1.708.

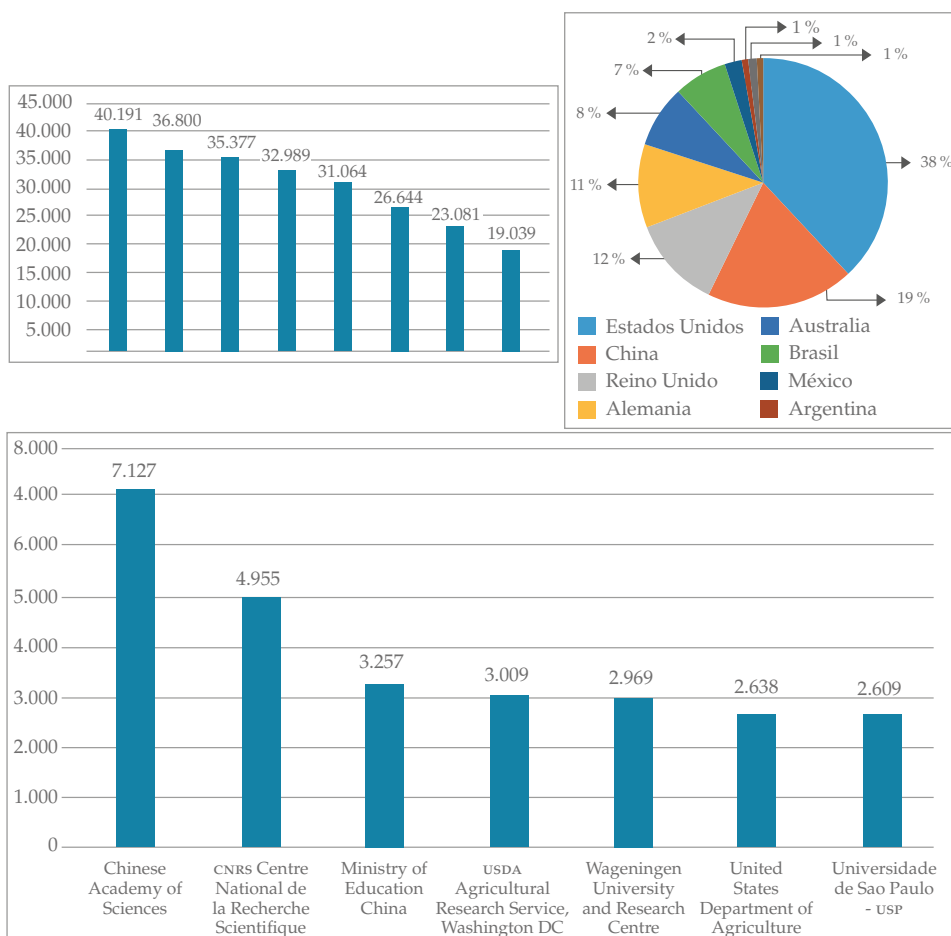


Figura 20. Tecnologías de la información y las comunicaciones como megatendencia en investigación en agricultura y ciencias biológicas. Publicaciones científicas 2010-2017. Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Scopus (s. f.)

Las temáticas tendenciales en TIC para el sector agropecuario abarcan tópicos de sistemas expertos para la gestión de residuos pecuarios, sistemas de soporte a la toma de decisiones para el uso y la gestión de bioinsumos, manejo digital de información geográfica de cultivos, agricultura de precisión, bases de datos para *commodities*, sistemas de toma de decisiones para mecanización basada en georreferenciación, sistemas de información en seguridad alimentaria, sistemas de información en alertas tempranas epidemiológicas, sistemas de trazabilidad y gestión de la cadena de frío. Los temas de base más tratados son software de análisis genético, codificación de ADN,

modelamiento satelital de cultivos, mapeo genético, sensores inalámbricos para la agricultura, modelamientos de nichos ecológicos. Algunos de los temas emergentes son estadísticas multinivel para suelos agrícolas, monitoreo de la biodiversidad biológica zonas de producción agrícola, modelos de toma de decisiones basados en aplicativos webs como herramienta para control fitosanitario, Modelos de planeación y sistemas de información global para granjas y sistemas acuícolas.

Contexto nacional

- Teniendo en cuenta el plan estratégico nacional de CTi para el desarrollo del sector electrónica, tecnologías de la información y las comunicaciones (ETIC), se establecen directrices concretas para la incidencia de estos sectores en el ámbito agropecuario:
- Priorización de enfoque en sectores estratégicos, entre estos el agropecuario.
- Desarrollo de la electrónica impresa y flexible.
- Fortalecimiento de la tendencia de migración de tecnologías de sensores de uso militar para uso civil en sectores como el agropecuario.
- Tecnologías RFID para trazabilidad de las cadenas de suministro agroalimentarias.
- Conectividad de banda ancha en zonas rurales, reutilización de frecuencias inactivas UHF en las bandas de radiodifusión televisiva para comunicaciones móviles y redes inalámbricas locales Wifi-WiMAX, y redes de internet móvil LTE.
- Colagrotic: megaproyecto vertical orientado a las tecnologías ETIC aplicadas en el sector de la agroindustria, que representa una oportunidad de establecer vínculos con los centros regionales de la red IMI, que trabajen sobre aspectos como la robótica industrial, los procesos industriales del sector agroindustrial, las telecomunicaciones de bajo coste y masivas aplicadas al seguimiento en tiempo real de cosechas, ganado, almacenes etc., las plataformas software de explotación de datos y generación de patrones de predicción, las tecnologías de trazabilidad alimentaria aplicadas a la producción agrícola y alimentaria, etc.
- Instrumentación y sensores para agricultura de precisión, robótica agroalimentaria, bioinformática (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones [MinTIC], 2013).

Estas iniciativas se han sintetizado en cinco ejes temáticos: 1) difusión de las TIC; 2) sistemas de información para georreferenciación; 3) Agricultura de precisión; 4) análisis de datos, y 5) soluciones de difusión de información. De las 28 demandas relacionadas con TIC en la agenda dinámica única nacional de I+D+i, 12 están vinculadas con sistemas de información para georreferenciación, 4 con análisis de datos, 2 con agricultura de precisión y 10 con soluciones para la difusión de información.

El proyecto Misión Rural, en su acápite respecto al papel de las TIC en el sector agropecuario, establece a partir de las experiencias del CIAT y el Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR) cinco áreas de acción con estrategias específicas para un marco de promoción de la innovación desde el territorio, la conformación de redes de actores y el fortalecimiento del sistema de apoyo integral al productor (asistencia y transferencia agropecuaria). Las cinco áreas son:

- Fortalecer el marco institucional que se requiere para fomentar el uso de las TIC en el agro: integración del MADR y el MinTIC, conformación de la mesa Agro-TIC para la formulación de políticas, orientación territorial de las TIC, modelo integral de acompañamiento al productor que integre las TIC a través de sistemas de acompañamiento, herramientas e infraestructura, transversalidad de las TIC para integración de actores clave no gubernamentales.
- Promover el uso de las TIC en la agricultura y en programas de desarrollo rural, incluyendo proyectos de alfabetización digital: desarrollo de contenidos y aplicaciones, y difusión y replica de casos de éxitos como modelos de apropiación.
- Garantizar la conectividad en todas las zonas rurales de Colombia: inversión, estrategias de cobertura con alianzas público-privadas con los operadores de telefonía móvil, y ampliar la cobertura de acceso a internet con zonas wi-fi públicas y kioscos vive digital.
- Masificar las TIC para llevar educación a todas las zonas rurales de Colombia e integrar modelos y enfoques pedagógicos nuevos con base en las oportunidades generadas por las nuevas tecnologías: escuelas rurales, incluyendo en sus programas de formación el uso de TIC, la extensión del sistema de educación a través de *e-learning*, la promoción del uso de kioscos, y el acercamiento a la oferta de formación superior al sector rural en los diferentes niveles: técnico, tecnológico y profesional

- Informatización del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Agropecuaria y especialmente del Subsistema Territorial de Acompañamiento Integral al pequeño productor: rediseñar los sistemas de asistencia técnica, promover la conformación de redes y sistemas territoriales, focalizar la asistencia en transferencia de conocimiento en doble vía, implementar sistemas de información geográfica/geographic information systems (SIG/GIS) en el territorio, conformar HUB de innovación para el trabajo conjunto en CTi con la comunidad de diferentes entidades, soportadas en plataformas tecnológicas, en promoción de políticas de *open access*, en redes sociales para la innovación (por ejemplo, Linkata) y en comunidades de aprendizaje.

En la tabla 31 se presenta el panorama actual de la investigación científica internacional generada en Colombia para TIC.

Tabla 31. Tecnologías de la información y las comunicaciones como megatendencia de investigación en el sector agropecuario

Criterio	Descriptores	
Número de publicaciones.	Total megatendencia: 2.672. Área de agricultura y ciencias agropecuarias: 308.	
Organizaciones líderes en la megatendencia de agricultura y ciencias biológicas.	• Universidad Nacional de Colombia. • Centro Internacional de Agricultura Tropical. • Universidad de Antioquia. • Universidad de los Andes. • Pontificia Universidad Javeriana.	
Países y organizaciones aliados en investigación.	• Estados Unidos. • España. • Brasil. • Reino Unido. • Francia. • México. • Alemania.	• Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (Embrapa). • Universidad Nacional Autónoma de México. • University of Leeds. • Katholieke Universiteit Leuven. • Cornell University. • University of Florida. • Wageningen University and Research Centre.

(Continúa)

Criterio	Descriptorios
Tópicos tendenciales.	• Viabilidad del uso de entornos virtuales de aprendizaje en el sector rural. • Uso de bases de datos para parametrizar el uso de insumos en modelos productivos de cultivos. • Banco genético mundial de plantas como sistema de gestión-proyecto. • Sistema experto para la identificación taxonómica de peces. • Modelos de toma de decisiones para la extensión agrícola • Software para el análisis de nutrientes en cultivos de cereales. • Aplicaciones de la ecogeografía y los sistemas de información geográfica en conservación y utilización de recursos fitogenéticos. • Sistemas inteligentes para asesorar perturbaciones en los cultivos.
Tópicos de base.	• Modelos de seguimiento a suelos agrícolas. • Código de barras para el ADN en plantas. • Base de datos de rasgos de plantas. • Modelos estadísticos para la gestión del uso de insumos. • Sistema de toma de decisiones para el suministro de energía en zonas no interconectadas. • Base genética basada en marcadores moleculares para frijol.
Tópicos emergentes.	• Monitoreo ambiental. • Mapeo digital de suelos de cultivo. • Agromapas.
Investigadores referentes.	• Jarvis, Andy C., Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia. Contacto: a.jarvis@cgiar.org • Camacho-Tamayo, Jesús Hernán, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Civil e Ingeniería Agrícola, Bogotá, Colombia. Contacto: jhcamachot@unal.edu.co • López, Camilo Ernesto, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Biología. Contacto: celopezc@unal.edu.co • Pelayo-Villamil, Patricia, Universidad de Antioquia, Grupo de Ictiología, Medellín. Contacto: patriciapelayo@gmail.com

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Scopus (s. f.)

Capacidades nacionales en tecnologías de la información y las comunicaciones

Colciencias, desde los programas nacionales de CTi ha promovido la formación del recurso humano. Así, para el programa de Electrónica, Comunicaciones e Informática se asignaron 167 becas de doctorado, equivalentes al 5,5 % del total de becas por país (3.012).

En proyectos aprobados y financiados de CTi para el periodo 2010-2013, el programa de Electrónica, Comunicaciones e Informática cuenta con 133 proyectos por \$127.111.000, equivalentes al 5,3 % de la inversión de país (2.836 proyectos por \$2.416.907). En centros de investigación propios para el programa no se cuenta con un centro reconocido de investigación y desarrollo tecnológico.

En grupos de investigación, en la última convocatoria de clasificación y reconocimiento de grupos de investigación 693/2014, de los 3.970 grupos reconocidos, 704 corresponden a ingeniería y tecnología, y son equivalentes al 17,7 %. De estos 704, 78 se categorizan en A1 y 61 en categoría A. Hay 201 grupos en las áreas de ingeniería eléctrica, electrónica y telecomunicaciones. De los productos desarrollados por estos 201 grupos, el 46 % es en formación de recurso humano; el 32 %, en productos de apropiación social del conocimiento; el 9 % en productos de desarrollo tecnológico e innovación, y 14 % en productos de nuevo conocimiento.

De los 1.132 grupos de investigación registrados en la plataforma Scienti de Colciencias (s. f.c), se identifican 857 afines al sector agropecuario y agroindustrial. En la figura 21 se presenta la distribución de estos grupos de investigación por los programas nacionales de ciencia, tecnología e innovación formalizados en Colciencias, las principales entidades de investigación y el total de investigadores en la megatendencia de TIC. Se cuenta con 8 grupos de investigación relacionados con la megatendencia.²²

²² Acorde con la Convocatoria Nacional para el Reconocimiento y Medición de Grupos de Investigación, Desarrollo Tecnológico o de Innovación y para el Reconocimiento de Investigadores, se registran actualmente para Colombia 283 grupos en el programa de Electrónica, Telecomunicaciones e Informática de Colciencias, con potencial para desarrollar trabajos en el sector agropecuario.



Figura 21. Capacidades nacionales en la megatendencias de TIC
Fuente: Elaboración propia, a partir de información de Colciencias (s. f.a)

Las principales organizaciones con mayor número de grupos de investigación relacionados con agroenergías son la Universidad Católica de Colombia con dos y Cenicaña con uno.

Construcción de directrices estratégicas

Teniendo en cuenta que la implementación de la metodología del capítulo II se realiza en una megatendencia, se siguió la ruta 2 (figura 2) para el diseño de futuros. Se identificaron a partir de los resultados de las fases previas 13 limitaciones y 28 oportunidades, que sirvieron como insumo para la construcción de 38 lineamientos estratégicos de base, los cuales se clasificaron en los siguientes ejes temáticos:

- Capacidades (recursos humanos e infraestructura): 9 lineamientos.
- Ciencia, tecnología e innovación: 9 lineamientos.
- Gestión de mercados y financiación: 6 lineamientos.
- Gobernanza e institucionalidad: 8 lineamientos.
- Transferencia de tecnología y asistencia técnica: 6 lineamientos.

A manera de ejemplo, se muestra cómo a partir de las oportunidades (O) y limitaciones (L) se construyeron las estrategias de base.

O: tendencia mundial de e-agricultura, para la integración de TIC en promoción de la producción agrícola, intercambio de conocimiento, difusión de servicios gubernamentales y asistencia técnica, en un marco de accesibilidad y asequibilidad.

L: poco acceso y difusión de las TIC orientadas a mercadeo de productos, acceso a mercados, creación, transferencia y aplicación de conocimiento al alcance del productor, asistencia técnica moderna, etc.

Lineamiento estratégico de base: evaluar los sistemas de información TI actuales que gestionen información pertinente para los procesos de planificación rural agropecuaria, caracterizar su estado actual y diseñar planes de mejora en el corto plazo, para dar soporte a las entidades territoriales en términos de cobertura e infraestructura.

Una vez identificados los lineamientos base, fueron sometidos a análisis y revisión por parte de actores clave en mesas de trabajo relacionadas con los cuatro ejes temáticos y según su experiencia y percepción, en un taller para definir estrategias que permiten fortalecer el plan estratégico del sector en el corto, mediano y largo plazo. Se definieron en total 26 directrices estratégicas en TIC (ver anexo 1):

- Ciencia, tecnología e innovación: 6.
- Capacidades (recursos humanos e infraestructura): 4.
- Gestión de mercados y financiación: 3 lineamientos.
- Gobernanza e institucionalidad: 7.
- Transferencia de tecnología y asistencia técnica: 6.

Ciencia, tecnología e innovación

Diseñar convocatorias para el desarrollo de soluciones a las demandas de la agenda única nacional que involucren empresas desarrolladoras, grupos de investigación en áreas específicas del agro, grupos de investigación en áreas TIC y beneficiarios directos. Estrategias de cocreación con el usuario.

Capacidades (recursos humanos e infraestructura)

Desarrollar un esquema de capacitación a docentes rurales, que responda a las necesidades de formación en el campo colombiano, en los que se incluyan metodologías de enseñanza de aprender haciendo, integración de TIC (radio, internet, computadores).

Gestión de mercados y financiación

Consolidación de una plataforma de precios que beneficie a los pequeños productores, administrada por el sector público, cuyos datos suministrados al usuario estén basados en estudios de mercado y de impacto social con participación del sector bancario y que presente un análisis regionalizado a través de los diferentes sistemas de georreferenciación.

Gobernanza e institucionalidad

Articulación de las necesidades de información en CTi, mercados, del sector público y privado, bajo un esquema operativo-estratégico empresa-universidad-estado que permita la generación de información faltante.

En transferencia de tecnología y asistencia técnica

Investigar y adaptar infraestructura tecnológica para el registro, monitoreo y transmisión de datos *in situ* en unidades productivas de los productores.

Actores nacionales en tecnologías de la información y las comunicaciones

El mapeo de actores sociales clave para contextos delimitados en el sector agropecuario y agroindustrial, así como su integración con contextos transversales como el sector TIC, permite identificar a todas las personas y organizaciones que pueden ser importantes para la planeación, el diseño, la implementación o la evaluación de instrumentos de política pública, instancias de concertación y esquemas de asociatividad; por ejemplo, los sistemas productivos, las cadenas productivas, los clústeres agroindustriales y demás formas de organización. El presente estudio aplica la metodología diseñada

por el observatorio del Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNCTA),²³ equipo del Departamento de Articulación Institucional de AGROSAVIA.

Por otro lado, se identificaron a través de fuentes de información secundaria 2.146 actores relacionados con el sector TIC, que fueron caracterizados y evaluados en los siguientes criterios: 1) tipo de organización; 2) rol TIC; 3) rol de gestión de conocimiento principal y secundario, y 4) evaluación de impacto e incidencia. En las figuras 22, 23 y 24 se presentan el análisis del mapa de actores para cada criterio, respectivamente.

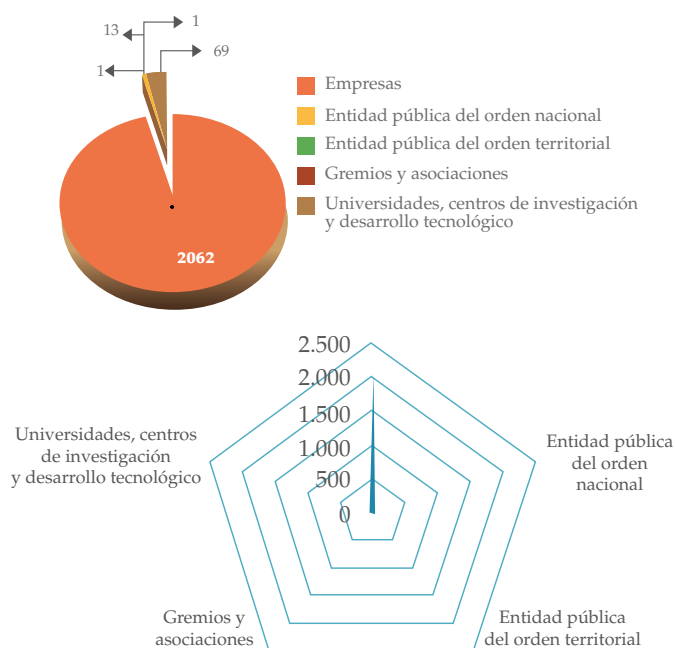


Figura 22. Análisis de actores por rol como organización.

Fuente: Elaboración propia

De los 2.146 actores identificados para el sector TIC, 2.062 corresponden a empresas y 69, a universidades (grupos de investigación), centros de investigación y desarrollo y a 13 entidades públicas del orden nacional, principalmente. Aquí el mapa se polariza en actores que desarrollan actividades productivas en relación con las TIC.

²³ El observatorio del SNIA es un equipo interdisciplinario de AGROSAVIA que soporta la gestión y administración del portal Siembra, así como la coordinación del Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario Colombiano Pectia.

Por su rol en las TIC, los actores identificados tienen dos roles que, si bien son transversales al sector, son representativos en el número de actores que los conforman, por ejemplo, los proveedores de infraestructura y servicios de mantenimiento (principalmente empresas); además, tienen otros roles en TIC, como otras actividades de comercio o actividades de informática, publicidad, sector educativo y actividades de bibliotecas y archivo, lo cual agrupa, respectivamente, 603 y 492 actores (figura 23).

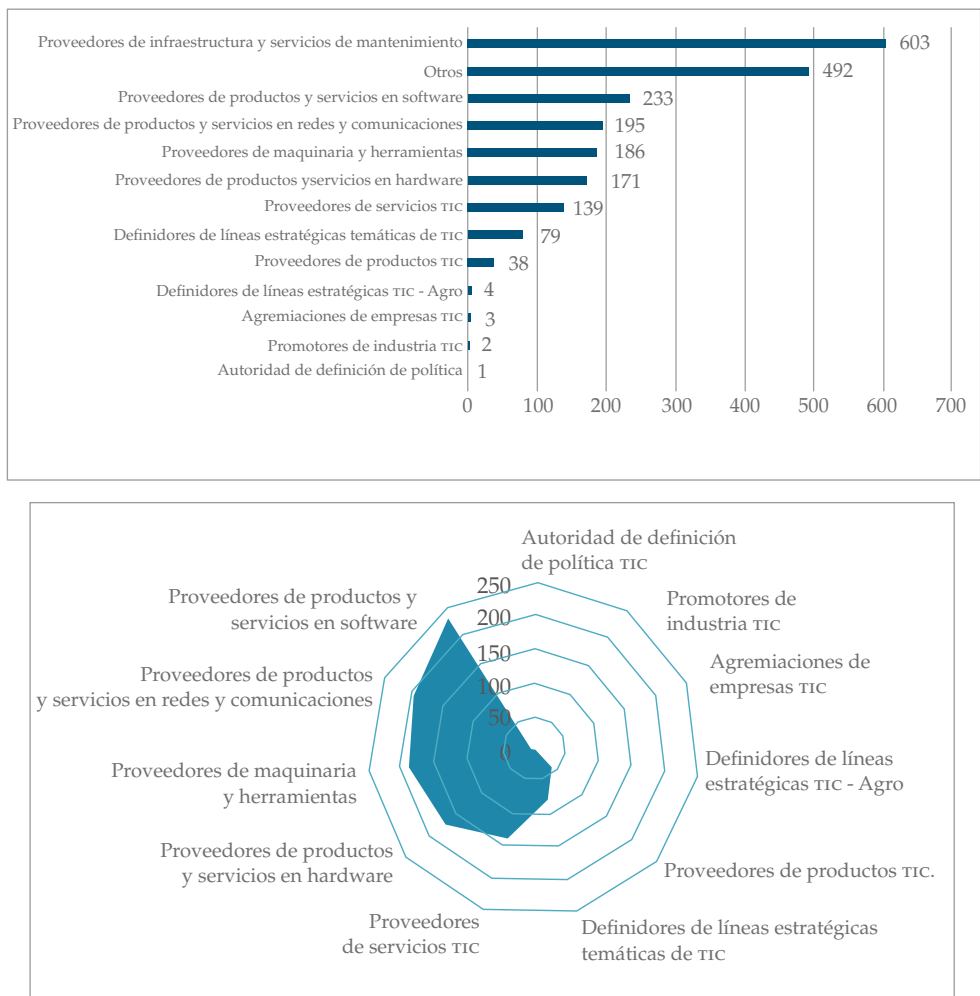


Figura 23. Análisis de actores por su rol en tecnologías de la información y las comunicaciones.
Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los otros roles en las TIC, denominados principales, el mapa muestra una polarización en empresas que proveen productos y servicios de software, productos y servicios en redes y telecomunicaciones, maquinaria y herramientas, productos y servicios en hardware, servicios en TIC y definidores de líneas estratégicas temática (figura 24).

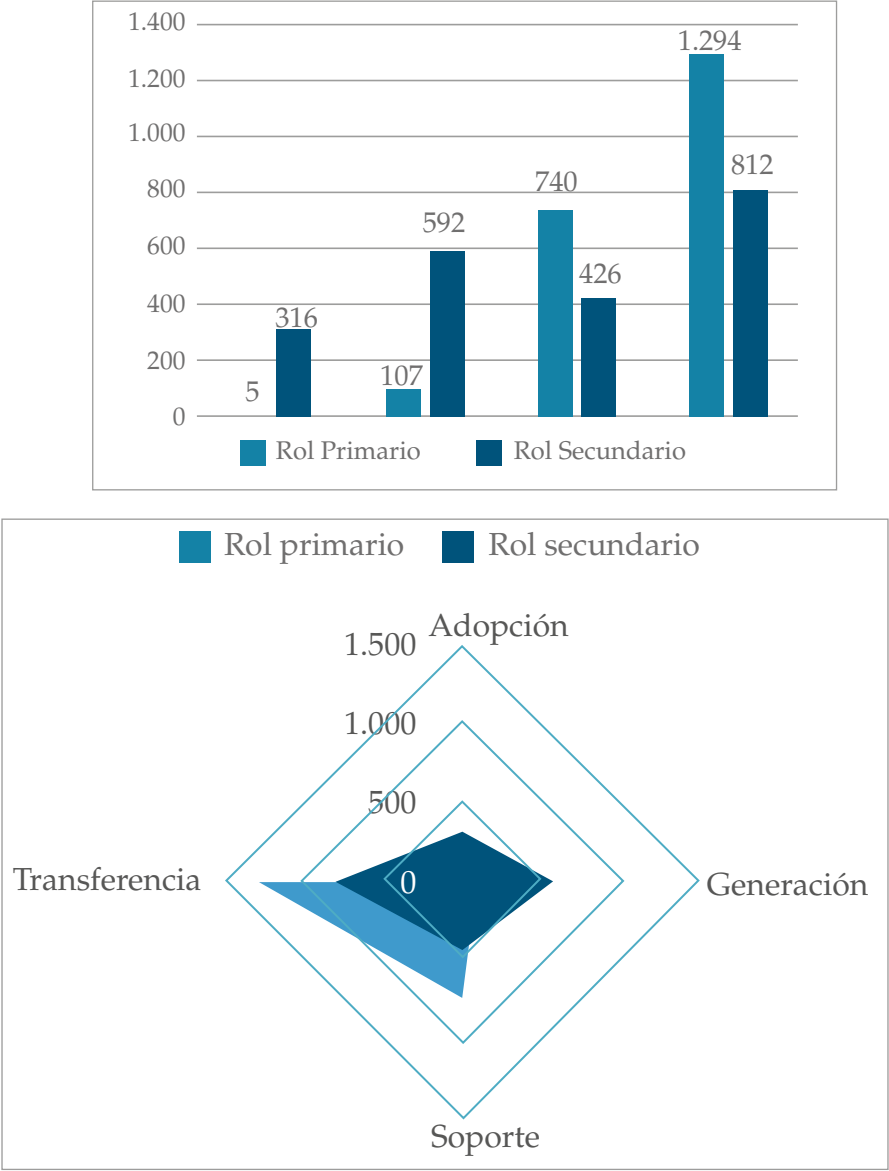


Figura 24. Análisis de actores por su rol de gestión de conocimiento (gc) primario y secundario.
Fuente: Elaboración propia

Frente a los roles de gestión de conocimiento (gc), el rol principal con mayor número de actores que lo desarrollan es el de transferencia de conocimiento con 1.294, seguido por rol de soporte con 740, el rol de generación con 107 y el de adopción con 5. Como rol secundario, la transferencia sigue teniendo representatividad con 812, seguido por el de generación con 592, el de soporte con 426 y el de adopción con 316. El mapa muestra un equilibrio en los roles de gc a nivel secundario y una polarización hacia el rol de transferencia como rol primario; esto por el número de empresas identificadas.

Perspectivas de futuro

A partir del análisis de aspectos actuales y futuros de las TIC en el agro, en cada eje temático se construye el escenario apuesta 2026 para esta megatendencia. La gobernanza e institucionalidad de las TIC para el sector agroindustrial (agrícola, pecuario, forestal, acuícola y pesquero) se caracteriza por tener instituciones que hacen visible la información desde una política de datos abiertos y un marco de propiedad intelectual, y una arquitectura robusta y amigable. Utilizan TI funcionales y adaptativas (tecnologías de multiespectro y satelital para la captura, validación y difusión de información multivariable como herramientas operativas a nivel territorial), que permiten una gestión de la información sectorial enfocada hacia el usuario final, desde lo nacional y lo regional.

La interoperabilidad sectorial basada en el ciclo de desarrollo de TI para toda la institucionalidad sectorial opera a partir de un marco homogéneo de infraestructura y seguridad de la información (datos abiertos, protección de la información, acceso, uso y cultura), lo que le ha valido la certificación ISO 27001 a todas las entidades del sector.

Este marco de gobernanza ha permitido consolidar los mecanismos de protección de desarrollos de software y aplicativos, así como el marco de integración TIC-agro, institucionalizado a través de la cadena de valor de TI como elemento integral de las cadenas productivas agrícolas, pecuarias, forestales, acuícolas y pesqueras; asimismo, contar con canales de información especializada definidos desde quién tiene, quién demanda y cómo es el flujo desde la cadena de valor de TIC en el agro. Se cuenta, además, con el catálogo dinámico de la oferta institucional de información,

lo que ha consolidado una cobertura amplia, dinámica e inclusiva de los servicios institucionales al ciudadano, en específico, del productor.

Por otra parte, el capítulo especial para el sector agropecuario se consolida desde el Programa Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación en Electrónica, Informática y Comunicaciones específicamente para la priorización de problemáticas y diseño de convocatorias para ejecución de proyectos y formación de recursos humanos, así como el fortalecimiento de grupos de investigación a través de las líneas de investigación consolidadas en soluciones tecnológicas para *e-marketing*, *e-commerce*, *e-business*, *e-banca*, trazabilidad de productos y cadenas de suministro inteligentes, sistemas de información especializados en genómica (bioinformática) y sostenibilidad ambiental (climatología y riesgo climático agropecuario). La gestión de la producción y el uso del territorio son direccionados por desarrollos en productos y servicios tecnológicos en agricultura de precisión, agricultura específica, mapeo satelital multiespectro, entre otros.

Esta oferta tecnológica convierte a Colombia en potencial exportador de desarrollo tecnológico para el sector agropecuario, con una oferta de productos y servicios en TI de calidad, relevancia y pertinencia, todo a través del esfuerzo investigativo en TIC-agro y direccionado por el trabajo colaborativo y cocreación con diferentes actores del agro.

El agricultor cuenta con herramientas tecnológicas que permiten tener acceso a información y tecnologías disponibles en el SNCTA de manera confiable y oportuna en tiempo real, para asegurar la seguridad alimentaria, incrementar productividad y competitividad, fortalecer el capital social y mejorar los sistemas productivos de manera sostenible.

Así, se espera que para 2026 haya un país repoblado en la zona rural, con una mayor presencia del Estado colombiano en el territorio, con una fuerza laboral agropecuaria más capacitada y competitiva, con niveles de alfabetización más altos y autonomía en el uso de las TIC.

Esto repercute en un mayor rendimiento del campo, con mejores ingresos en las unidades productivas que impactan en la mejora de la calidad de vida del campesino. Existe una convergencia en las metodologías y los medios educativos, en la cual se identifican de manera clara las

competencias y necesidades de formación en la zona rural, lo que impacta positivamente los procesos de transferencia del conocimiento en el campo. Adicionalmente, se presenta un cambio cultural en doble vía para el uso y la apropiación de las TIC en el campo, acompañado de un tejido social robusto, con mejores interacciones entre la comunidad y el Gobierno, y una mejora en la equidad con la mujer.

Por último, se cuenta con un sector agroindustrial con altas capacidades y soportado por su infraestructura tecnológica, que permite acercar el sistema de mercado y finanzas aún más al pequeño productor, hecho que minimiza las brechas de tecnología y de desplazamiento a través de la geografía nacional. Esto hace que la tecnología en Colombia se convierta en una herramienta del campo, para dar respuesta a la demanda de mercados internos, consolidación de la oferta exportadora y dinamización de las cadenas de abastecimiento.

Conclusiones

Las demandas nacionales, la oferta del entorno y las capacidades propias deben ser direccionadas desde ejes de acción específicos en gobernanza, CTi, transferencia de tecnología, financiación y fortalecimiento del recurso humano e infraestructura. Donde el análisis cuantitativo y cualitativo ofrece a los tomadores de decisiones elementos de juicio para la formulación, ejecución y evaluación de iniciativas de I+D+i

Algunas preguntas de investigación que pueden direccionar los esfuerzos en CTi en relación con esta megatendencia, son:

- ¿Qué tanto la educación agrícola, la extensión, la movilización de productores y el empoderamiento pueden ser alcanzados a partir de las nuevas perspectivas y oportunidades de las TIC?
- ¿Cuál es la efectividad de los diferentes sistemas de información al consumidor para su elección de productos, que premien directamente al productor, de tal manera que se promuevan las prácticas agrícolas, la sostenibilidad ambiental, los sellos diferenciadores, etc.?

- ¿Cómo impactan las TIC en la competitividad y productividad de los pequeños productores?
- ¿Qué ejes temáticos deben desarrollarse en TIC para actores específicos?
- ¿Cuáles deben ser las instancias y los actores para la toma de decisiones y el desarrollo de directrices en TIC para el sector?



La definición de planes estratégicos sectoriales como herramientas de política pública, para la concreción de directrices en el corto, mediano y largo plazo, tiene en el sector agropecuario la necesidad de dinamizar actividades basadas en ciencia, tecnología e innovación (CTi) y focalizadas por regiones, áreas temáticas, cadenas productivas, sistemas productivos, entre otros criterios de acotación. A través de la construcción del Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación para el sector Agropecuario Colombiano (Pectia), se integran herramientas de gestión estratégica moderna para dar valor agregado a la información, y transformarla así en conocimiento para apoyar la toma de decisiones y la asignación de recursos en temas prioritarios para el sector agropecuario, que promuevan el cambio técnico y la innovación.

El Pectia busca, desde los principios de enfoque territorial, priorización, focalización, pertinencia y una mejor coordinación y aprovechamiento de las capacidades del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología Agroindustrial (SNCTA), teniendo como bases las líneas de la Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTi) en construcción (DNP, 2016), las recomendaciones de la Misión para la Transformación del Campo Colombiano en materia de CTi (DNP, 2015) y las recomendaciones recientes de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos para reforzar el sistema de innovación agrícola colombiano (OCDE, 2015) y el diseño de las estrategias sectoriales para el periodo 2016-2026, como marco temporal de acción.

Construcción de focos en ciencia, tecnología e innovación

Las estrategias diseñadas a través de un proceso de construcción social, consultivo, colaborativo y sinérgico entre los diferentes actores del sector buscan alcanzar cuatro objetivos estratégicos: 1) incrementar la productividad y competitividad de los sistemas productivos agrícolas, pecuarios, forestales y pesqueros; 2) contribuir a mejorar la calidad e inocuidad de los alimentos; 3) mejorar los sistemas productivos de manera sostenible mediante un adecuado manejo de los recursos naturales, y 4) fortalecer el capital social para que la innovación sea el resultado de procesos de gestión de conocimiento en red.

Las estrategias en cada megatendencia son específicas al accionar de la CTi sectorial y están orientadas a generar el cambio técnico en los productores, a través de procesos integrados de formulación, ejecución, transferencia, vinculación y evaluación de impacto de las soluciones desarrolladas por los actores encargados de generación, socialización y aprehensión de conocimiento.

A través de un análisis cualitativo-cuantitativo de las estrategias en cada una de las cinco megatendencias, se categorizaron las demandas en CTi de la Agenda Dinámica Nacional de I+D+i, clasificadas por área temática²⁴ con prioridad 1 y 2, para relacionar la afinidad directa e indirecta de las megatendencias con estas y las estrategias de la megatendencia afín al área temática. Estos insumos permiten la definición de unos “focos generales” en CTi. El análisis desarrollado en cuatro etapas se presenta a continuación:

- Etapa 1. Cuantitativa: cobertura y representatividad de las demandas con orden de prioridad 1 y 2.
- Etapa 2. Cuantitativa: cobertura y representatividad de lineamientos estratégicos de megatendencias en las demandas con orden de prioridad 1 y 2.
- Etapa 3. Cualitativa: identificación y caracterización de lineamientos estratégicos relacionados.

²⁴ De las 3.311 demandas identificadas en el territorio, se analizaron aquellas cuyo orden de prioridad fue definido por los actores en los niveles 1 y 2, y de esta manera se obtuvieron 799 demandas, consideradas el foco de atención en el corto plazo. Cada demanda cuenta con una caracterización que incluye definición, área temática asociada, región-departamento de incidencia, cadena productiva y producto relacionado (fecha de corte septiembre de 2016).

- Etapa 4. Cualitativa: formulación de focos en CTi por área temática clave, a partir de los lineamientos estratégicos relacionados (demanda-megatendencia).

El análisis de las demandas con prioridad 1 y 2 de la agenda, frente a los lineamientos de las megatendencias en investigación, generó 17 focos en CTi para el SNCTA (tabla 32).

Tabla 32. Focos en CTi para el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología Agroindustrial

Descriptor del foco	Área temática	Número de demandas asociadas
Desarrollar, ajustar y validar herramientas de extensión y asistencia técnica integral especializada (investigación participativa, cocreación, escuelas de campo, e-agricultura, estrategias de agregación de valor –BPA, BPM, PML, LMR–, bioprospección, nueva ruralidad –enfoque territorio, servicios ambientales, certificaciones, comunidades activas, cultura–, etc.), por sistemas productivos que respondan a necesidades territoriales de los pequeños, medianos y grandes productores frente a la adopción y vinculación de tecnologías para el cambio técnico.	Transferencia de tecnología, asistencia técnica e innovación.	118
Generar espacios de trabajo colaborativo a través de sistemas territoriales de innovación, para la interacción en red de los actores del SNCTA en torno al proceso de I+D+i sectorial, que involucren investigadores, extensionistas y asistentes técnicos y productores para la identificación de necesidades, transferencia y adopción de soluciones y cierre de brechas de los sistemas productivos, desde una perspectiva de innovación social.	Transferencia de tecnología, asistencia técnica e innovación.	118

(Continúa)

Descriptor del foco	Área temática	Número de demandas asociadas
Promoción de estrategias para el manejo integrado de sistemas de producción acuícola, agrícola, forestal, pecuaria y pesquera, soportadas en desarrollo, ajuste, validación y adaptación de tecnologías, prácticas, planes y modelos, que maximicen la productividad y contribuyan a la sostenibilidad de los diferentes agroecosistemas regionales.	Manejo del sistema productivo.	95
Desarrollar tecnologías en cuanto al manejo de cosecha, poscosecha y transformación (métodos de cosecha, métodos de conservación, procesos estandarizados de transformación, maquinaria, herramientas, infraestructura, cadena de suministros, valor agregado, generación de agroenergías y biocombustibles, etc.), para la diversificación de la oferta de productos y el aprovechamiento integral de subproductos, que potencien la agroindustria sectorial.	Manejo cosecha, poscosecha y transformación.	93
Desarrollar e implementar programas de manejo integrado de plagas y enfermedades para sistemas productivos acuícolas, agrícolas, forestales, pecuarios y pesqueros, soportados en tecnologías y recomendaciones basadas en el estatus sanitario y fitosanitario actual del sistema productivo.	Manejo sanitario y fitosanitario.	89
Desarrollo de programas de mejoramiento genético y tecnologías de reproducción animal y vegetal para la obtención, evaluación y adaptación de materiales nativos e importados, con características deseadas en calidad sanitaria y fitosanitaria, contenido nutricional y sensorial, rendimiento, adaptabilidad agroecológica, que garanticen la sustentabilidad de los sistemas productivos y contribuyan a la seguridad alimentaria.	Material de siembra y mejoramiento genético.	80

(Continúa)

Descriptor del foco	Área temática	Número de demandas asociadas
Desarrollar, adaptar y validar tecnologías y procesos para el uso de la biodiversidad territorial de los sistemas productivos (acuícolas, agrícolas, forestales, pecuarios y pesqueros) y de especies con potencial, para el desarrollo de insumos y productos de valor agregado con características de calidad e inocuidad, que cumplan con los requerimientos y requisitos de acceso a mercados agroalimentarios internos y externos (BPA, BPG, BPM, LMR, PML, certificaciones ambientales, económica y sociales).	Calidad e inocuidad de insumos y productos.	80
Identificación del potencial agroindustrial de recursos genéticos disponibles a través de la agrobioprospección y la biotecnología, para el desarrollo de productos especializados y de valor agregado que respondan a la demanda de mercados externos e internos.	Material de siembra y mejoramiento genético.	80
Desarrollar e implementar tecnologías en los sistemas productivos acuícolas, agrícolas, forestales, pecuarios y pesqueros, que garanticen la calidad e inocuidad de los insumos y productos a lo largo de la cadena de valor.	Calidad e inocuidad de insumos y productos.	80
Desarrollar estudios socioeconómicos y de inteligencia competitiva integrales (tendencias de consumo, estrategias de fomento, canales de comercialización, clientes y proveedores, tecnologías emergentes y decadentes, etc.), que contribuyan al desarrollo y posicionamiento de un portafolio de productos y subproductos en nichos especializados.	Socioeconomía, inteligencia competitiva y desarrollo empresarial.	64

(Continúa)

Descriptor del foco	Área temática	Número de demandas asociadas
Evaluar, adaptar e implementar esquemas para el fortalecimiento de capacidades en asociatividad, gestión gremial y empresarización de los productores, y así fomentar alianzas con comercializadores, entes gubernamentales y demás actores del sistema.	Socioeconomía, inteligencia competitiva y desarrollo empresarial.	64
Implementar y transferir tecnologías para el uso consultivo de los recursos suelo, agua, biodiversidad y servicios ecosistémicos, que promuevan el fortalecimiento de sistemas productivos agroecológicos resilientes frente al cambio y la variabilidad climática.	Manejo de suelos y aguas.	57
Desarrollar e implementar sistemas de información, de gestión de conocimiento y sistemas expertos especializados (agronegocios, agroclimatología, agricultura de precisión, genómica, trazabilidad, educación, oferta y demanda de productos y tecnologías, etc.), basados en soluciones TIC, para una adecuada toma de decisiones en los sistemas productivos territoriales.	Sistemas de información, zonificación y georreferenciación.	26
Diseñar e implementar a través del trabajo y de la coordinación interinstitucional planes de zonificación agroecológica, agroclimática, socioeconómica y reconversión productiva para la identificación de usos adecuados del suelo, función ecológica del territorio, oferta ambiental, biofísica y socioeconómica, paisajes funcionales y zonas aptas para la producción acuícola, agrícola, forestal, pecuaria y pesquera del país.	Manejo ambiental y sostenibilidad.	24

(Continúa)

Descriptor del foco	Área temática	Número de demandas asociadas
Fortalecer la especialización de todos los actores que participan en los temas de preproducción, producción, cosecha, poscosecha y transformación, comercialización y mercadeo; en necesidades específicas de cadenas y sistemas productivos territoriales, a través de mecanismos de asociatividad y alianzas estratégicas, que articulen productores, investigadores y asistentes técnicos.	Fortalecimiento de capacidades técnicas y funcionales.	22
Desarrollar, validar, implementar y ajustar modelos y tecnologías sostenibles de nutrición integral de los cultivos, en diferentes sistemas de producción basados en el conocimiento de sus etapas fenológicas, el comportamiento fisiológico y los requerimientos nutricionales, edafoclimáticos e hídricos, que garanticen fertilizaciones adecuadas (dosis, frecuencia, fuentes, épocas de aplicación) en diferentes condiciones agroecológicas y que contribuyan al incremento de su productividad.	Fisiología vegetal y nutrición.	21
Desarrollar, adaptar y transferir conocimiento, protocolos y tecnologías en fisiología de la reproducción para especies tradicionales, potenciales y promisorias de consumo en los diferentes ámbitos territoriales.	Fisiología y reproducción animal.	5

Fuente: Corpoica et al. (2016)

Estos focos permiten identificar como áreas prioritarias para la generación de oferta tecnológica a la transferencia de tecnología y asistencia técnica, al manejo del sistema productivo, al manejo cosecha, poscosecha y transformación, así como a la socioeconomía, a la inteligencia competitiva y al desarrollo empresarial.

Algunas áreas emergentes son la fisiología y reproducción animal, la fisiología vegetal y nutrición, y el fortalecimiento de capacidades técnicas y funcionales.

Conclusiones

El análisis del estado actual de la CTi, a través de herramientas de gestión estratégica como la vigilancia del entorno y la vigilancia tecnológica para la identificación de tópicos tendenciales, de base y emergentes, permite la construcción de lineamientos categóricos sujetos de análisis y categorización, frente a las dinámicas de oferta y demanda tecnológica para el sector agropecuario.

Estos lineamientos se convierten en focos de atención que permiten establecer unos descriptores amplios, pero a su vez muy detallados de las necesidades concretas en un área temática específica del sector. Esto los convierte en un instrumento base para el diseño de convocatorias de proyectos, la formulación de proyectos y la transferencia de resultados de investigaciones previas con potencial de vinculación.

Los focos son un provocador para gestionar la innovación sectorial. Estos focos no son estáticos, dado que responden a las demandas de la agenda dinámica nacional de I+D+i, las cuales varían en el tiempo, acorde con los esfuerzos específicos de cada cadena productiva y de cada región; son orientadores para el cierre de brechas y la agregación de valor.

Por último, algunos interrogantes clave por resolver en el marco global de la planeación estratégica sectorial son:

- ¿Qué tipo y combinaciones específicas de tecnologías mejoradas, prácticas de cultivos, instituciones y políticas pueden resultar en el mantenimiento de los sistemas agrícolas en países en desarrollo?
- ¿Cuáles son las mejores integraciones y combinaciones de sistemas de producción de cultivos (incluyendo sistemas de cereales, nativos, rotaciones, agroforestería, pecuarios, acuícolas), para las diferentes zonas

agroecológicas y situaciones socioeconómicas, teniendo en cuenta el cambio climático, los riesgos del mercado, la infraestructura productiva y las circunstancias del sector?

- ¿Cómo puede ser viable la producción de animales a pequeña y mediana escala en términos de impacto ambiental, retorno económico y disponibilidad de alimentos; además, cuáles deben ser las políticas primordiales que garanticen la implementación de un balance entre ambas?
- Teniendo en cuenta que la agricultura es intensiva en conocimiento y determinada por la institucionalidad, ¿cuál debe ser la efectividad de diferentes y novedosas estrategias de extensión y cómo estas deben ser alineadas para facilitar el cambio institucional y la innovación técnica, con el ánimo de asegurar que el mayor número de productores sea alcanzado e involucrado?
- ¿Cuáles son los mejores modelos de aprendizaje e integración multiagente/ multiactor para reunir productores, investigadores, consejeros, empresas comercializadoras, hacedores de política y otros actores clave para desarrollar mejores tecnologías e instituciones para una agricultura de innovación, equitativa y sostenible?
- ¿Cómo debe darse la transición de la agricultura basada en pequeños productores a sistemas de intensificación, de tal manera que se mantengan los medios de vida de los pequeños agricultores?
- ¿Qué pasos se requieren para promover en la juventud el estudio de las ciencias agrícolas?

La planeación estratégica sectorial es un proceso colectivo que debe desarrollarse involucrando, desde preceptos de representatividad, participación y equidad, a los diferentes actores que se verán afectados por los resultados que se obtengan de esta. Así, el poder validar los resultados finales del proceso, y además contar con escenarios de participación durante las etapas de formulación y construcción, garantiza que “el plan estratégico”, “hoja de ruta” o “marco de referencia” sea válido y de conocimiento del público objetivo.

Conclusiones

Para el caso específico de la CTi en el sector agropecuario, su marco de gestión converge en la formulación del Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación para el periodo 2017-2027, el cual se constituye como un instrumento de política pública para orientar en cuanto a formulación, ejecución, vinculación y financiamiento de actividades de I+D+i, tanto en el ámbito público, como en el privado.

Este plan abarca los resultados obtenidos en la presente investigación para el análisis del entorno científico-tecnológico e incorpora los focos de CTi como el marco de referencia sobre el cual se actualizan las prioridades de las demandas sectoriales, así como el cierre de brechas. Los elementos directores de la Agenda Dinámica Nacional de I+D+i, que cobijan y equilibran amplitud y especificidad, son las propuestas directas a las demandas nacionales y territoriales, y las iniciativas concretas en temas más amplios.

Aunque el Pectia es un plan formulado para diez años, la agenda es continua y trasciende a este horizonte de planeación, toda vez que sus periodos de actualización son constantes y con diferentes intervalos, en contraste con el plan que se actualizará en 2028. Por otra parte, Pectia y la agenda I+D+i son directrices cobijadas por un proyecto de ley en curso que las ratifica como puntos de referencia para el accionar del sistema.

Esta dinámica garantiza que los focos se ajusten y realimenten en función del entorno sectorial, donde herramientas con la vigilancia del entorno y la vigilancia estratégica permiten actualizar el comportamiento de las tendencias científico-tecnológicas, ya sea desde la especificidad de una cadena o un sistema productivo, hasta la cobertura más amplia de un área temática o una megatendencia, así como el potencial de ser herramienta fundamental en la formulación de proyectos específicos por parte de los actores sectoriales.

En la construcción del Pectia participaron 12.123 asistentes y 2.323 actores, entendidos como entidades del sector agropecuario, en los ejercicios de revisión de las agendas de investigación en los departamentos priorizados por las cadenas productivas, los talleres de construcción del Pectia y las megatendencias. El documento final del Pectia, sus documentos de soporte y los acotados a la especificidad de cadenas productivas y departamentos se han divulgado a través del Programa Nacional de Ciencia y Tecnología Agropecuaria de Colciencias. Por su parte, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en su rol de motor, actor y soporte del Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA), divulga el Pectia en las diferentes instancias donde fue desarrollada su construcción y demás instancias clave. Finalmente, el documento se dinamiza a través de la plataforma Siembra, del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Con respecto a su diferencia y valor agregado frente al Plan Estratégico 2010-2014, que fue un proceso de construcción no social, de divulgación limitada y de ejecución sin evidencias claras, el Pectia se convierte en un instrumento de carácter social por su formulación y construcción, que permite la generación, el acopio, la socialización y empleo del conocimiento para el cambio técnico de alto efecto en la competitividad, productividad y sostenibilidad del sector agropecuario colombiano, desde los mismos actores que definieron de manera responsable su implementación.

Recomendaciones

De acuerdo con Flórez-Martínez, Moreno-Valderrama y Uribe-Galvis (2017, p. 16), los procesos de construcción de política pública sectorial deben seguir migrando:

La construcción de política pública sectorial ha migrado de ser procesos en los que los tomadores de decisiones, con el apoyo de expertos, formulaban las directrices estratégicas de un sector o una economía, para transformarse en procesos de construcción social, que se caracterizan por principios de participación, representatividad y consulta a todos los actores involucrados en el futuro alcance de la política misma.

Por lo anterior, se recomienda que los procesos de seguimiento y evaluación al empleo de las estrategias del Pectia, así como en la actualización de las demandas de la agenda nacional de I+D+i, como corazón del documento de política pública y de los focos de CTi en relación con el cierre de brechas, sean siempre una construcción social.

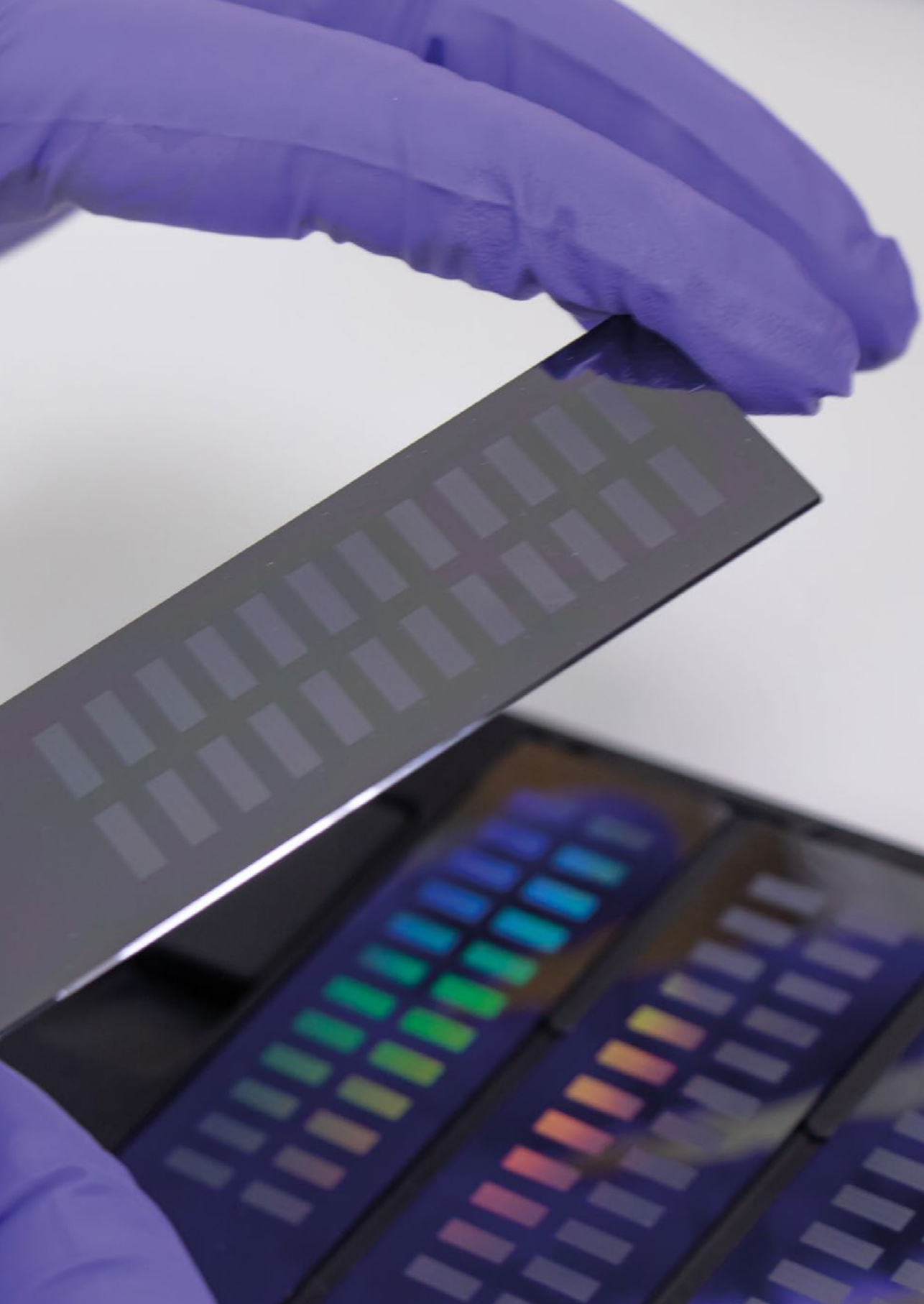
Con respecto a la integración de herramientas, esta se confirma como un mecanismo eficiente para la definición de lineamientos de política pública (escenarios futuros, estrategias y líneas de acción), donde el análisis robusto de los elementos clave del entorno endógeno (socioeconómico, político-normativo y científico-tecnológico) y del entorno exógeno (herramientas de inteligencia competitiva), en megatendencias transversales en investigación, genera la línea de base para la implementación de procesos de construcción de planes sectoriales.

Es importante que los procesos de implementación contemplen fases de socialización, validación y construcción colectiva con los actores involucrados (talleres colectivos, instrumentos de percepción, sondas prospectivas), pues esto permite contar con una metodología recurrente y replicable en diferentes contextos.

Por otra parte, el uso del diagnóstico del contexto debe ser fortalecido a través del análisis de la incidencia de tendencias identificadas en los entornos ambiental, social, económico, tecnológico y político del sector. Se sugiere, entonces, la adopción de metodologías de soporte para el análisis, como el diagnóstico tecnológico o balance de tecnologías, evaluaciones de impacto, valoración de tecnologías, *benchmarking*, entre otros.

El análisis de tendencias tecnológicas debe ser una actividad continua en la formulación, ejecución y evaluación de actividades de CTi, de tal manera que se tenga siempre información disponible y vigente del comportamiento de las tecnologías en proceso y de los cambios en la oferta y demanda de los productos.

Finalmente, el diseño de futuros a través de expertos orienta desde su conocimiento y perspectiva el escenario futuro del sistema productivo en torno a perspectivas, no solo tecnológicas, sino también comerciales, políticas y ambientales. Se recomienda, en función del tiempo y alcance de los estudios, el desarrollo de análisis prospectivos con herramientas de software como MACTOR, MICMAC y SMICPROB.





- Aguilar, F. (1967). *Scanning the business environment*. Nueva York, EE. UU.: Macmillan.
- Agritempo. (s. f.). *Sistema de Monitoramento Agrometeorológico*. Recuperado de www.agritempo.gov.br/.
- Aker, J. (2011). *Dial "A" for agriculture: A review of information and communication technologies for agricultural extension in developing countries*. Recuperado de <http://www.cgdev.org/content/publications/detail/1425497>.
- Alonso, D. L., Latorre, S., Castillo, E., & Brandão, P. F. B. (2014). Environmental occurrence of arsenic in Colombia: A review. *Environmental Pollution*, 186, 272-281.
- Asociación de Agricultores de Colombia (SAC). (s. f.) *Estadísticas*. Recuperado de <https://www.sac.org.co/es/estudios-economicos/estadisticas.html>
- Asociación Nacional de Caprinocultores y Ovinocultores (ANCO). (2010). *Razas bovinas criollas*. Recuperado de <http://www.unaga.org.co/asociados/anco.htm>.
- Ávila Castillo, F. A. (2016). *Estudio de caso: dinámicas del uso de la biodiversidad en los sistemas agroalimentarios regionales*. Montería, Córdoba. Documento resumen. Recuperado de http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/9331/16-104PS_2.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Balat, M. & Balat, H. (2009). Recent trends in global production and utilization of bio-ethanol fuel. *Applied Energy*, 85(11), 2273-2282.
- Banco Mundial. (s. f.). *Indicadores*. Recuperado de <http://datos.bancomundial.org/indicador>.
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2002). *Estrategia regional de biodiversidad para los países del trópico andino*. Recuperado de http://www.bivica.org/upload/ag_estrategia-biodiversidad_a.pdf.

- Banco Interamericano de Desarrollo (BID) & Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2014). *Impactos económicos del cambio climático Colombia -Síntesis-*. Bogotá, Colombia: Autores.
- Barragán, O. L. (2008). Estudio de diferentes metodologías para determinar la biodisponibilidad de cadmio y arsénico en suelos y su relación con la concentración en plantas. *NOVA*, 6(9), 35-39.
- Bernal Riobo, J. H., & Hernández, R. S. (2011). *Sorgos dulces (Sorghum bicolor (L.) Moench) nueva biomasa para producción de alcohol carburante y cogeneración de energía*. Bogotá, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Blum, W. E. H. (2005). Functions of soil for society and the environment. *Reviews in Environmental Science and BioTechnology*, 4(3), 75-79.
- Blum, W. (2008). Characterisation of soil degradation risk: an overview. En G. Tóth, L. Montanarella & E. Rusco (Eds.), *Threats to soil quality in Europe* (pp. 5-10). Ispra, Italia: Joint Research Centre (JRC).
- Castellanos Domínguez, O. F., Torres Piñeros, L. M., & Domínguez Martínez, K. P. (2009). *Manual metodológico para la definición de agendas de investigación y desarrollo en cadenas productivas agroindustriales*. Bogotá, Colombia: Giro Editores.
- Castellanos Domínguez, O. F., Fúquene Montañez, A. M., & Ramírez Martínez, D. C. (2011). *Análisis de tendencias: de la información hacia la innovación*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Castro, A. M. G., Cobbe, R. V., & Goedert, W. K. (1995). *Prospecção de demandas tecnológicas. Manual metodológico para o SNPA*. Brasília, Brasil: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).
- Cetisme. (2002). *Inteligencia económica y tecnológica. Guía para principiantes y profesionales*. Madrid, España: Autor.
- Choo, C. W. (2001). Environmental scanning as information seeking and organizational learning. *Information Research*, 7(1). Recuperado de <http://www.informationr.net/ir/7-1/paper112.html>.
- Choo, C. W., & Auster, E. (1993). Environmental scanning: Acquisition and use of information by managers. *Annual Review of Information Science and Technology*, 28, 279-314.
- Clement, A., & Shade, L. (2000). The access rainbow: conceptualizing universal access to the information/communication infrastructure. En M. Gurstein (Ed.), *Community informatics: Enabling communities with information and communication technologies* (pp. 32-51). Hershey, EE. UU.: Idea Group Publishing.

- Cobo-Romaní, J. C. (2009). El concepto de tecnologías de la información. Benchmarking sobre las definiciones de las TIC en la sociedad del conocimiento. *ZER*, 14(27), 295-318.
- ColombiaTIC. (s. f.). *Estadísticas para consulta*. Recuperado de colombiatic.mintic.gov.co/679/w3-channel.html.
- Comisión Intersectorial de Seguridad Alimentaria y Nutricional (CISAN). (2015). *Boletín de la Comisión Intersectorial de Seguridad Alimentaria y Nutricional*. Recuperado de https://issuu.com/mesadeseguridadalimentariadeantioqu/docs/bolet__n_no_cisan
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (s. f.). *Competencias de las autoridades en materia de conflictos ambientales*. Recuperado de <http://oaica.car.gov.co/competencias.php>.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias), & Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2016). *Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación Agropecuario - Pectia (2017-2027)*. Mosquera, Colombia: Corpoica.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), & Programa Cooperativo de Innovación Tecnológica Agropecuaria para la Región Andina (Prociandino). (2010). *La agroenergía en la región Andina: situación actual y perspectivas*. Bogotá, Colombia: Autores.
- Cortés-Lombana, A. (2004). *Suelos colombianos, una mirada desde la academia*. Bogotá, Colombia: Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Cotes, A. M., Barrero, L. S., Rodríguez, F., Zuluaga, M. V., & Arévalo, H. (2012). *Bioprospección para el desarrollo del sector agropecuario de Colombia*. Bogotá: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC). (2013). *Informe de indicadores sectoriales que permiten medir el avance de Colombia en la sociedad de la información*. Bogotá, Colombia: Autor.
- Cruz Martínez, E. H. (2017). *Colombia y el Fondo Verde del Clima*. Recuperado de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Ambiente/Finanzas%20del%20Clima/13.%20COLOMBIA%20Y%20EL%20FONDO%20VERDE%20DEL%20CLIMA.pdf>
- Deloitte. (2012). *eTransform Africa: Agriculture sector study. sector assessment and opportunities for ICT*. Recuperado de http://siteresources.worldbank.org/EXTINFORMATIONANDCOMMUNICATIONANDTECHNOLOGIES/Resources/282822-1346223280837/Agriculture_FullReport.pdf.

- Department of Information Systems. (2018). *The Electronic Journal of Information Systems in Developing Countries*. Recuperado de <http://www.ejisd.org/ojs2/index.php/ejisd/article/viewFile/849/377>.
- Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias). (s. f.a). *El estado de la ciencia en Colombia*. Recuperado de <http://www.colciencias.gov.co/node/2462>.
- Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias) (s. f.b). *Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación en Energía y Minería*. Recuperado de <http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/planestrategico2017-programa-energia-mineria.pdf>.
- Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias). (s. f.c). *Plataforma SCIENTI – Colombia*. Recuperado de <http://www.colciencias.gov.co/scienti>.
- Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias). (s. f.d). *Estado de la ciencia en Colombia*. Recuperado de <https://sites.google.com/a/colciencias.gov.co/estado-de-la-ciencia-2015/home>.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (s. f.a). *Censo Nacional Agropecuario 2014*. Recuperado de <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/censo-nacional-agropecuario-2014>.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (s. f.b) *Estadísticas por tema. Pobreza y condiciones de vida*. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/pobreza-y-condiciones-de-vida>.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (s. f.c) *Estadísticas por tema*. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema>.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (s. f.d). *Sistema de Información de Precios (SIPSA)*. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/index.php/servicios-al-ciudadano/servicios-de-informacion/sipsa>.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (s. f.a). *Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 “Todos Por un Nuevo País”*. Bogotá, Colombia: Autor.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (s. f.b). *Plan nacional de adaptación al cambio climático*. Recuperado de https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/DNP/PNACC_ABC%20Adaptaci%C3%B3n%20Bases%20Conceptuales.pdf.

- Departamento de Planeación Nacional (DNP). (s. f.c). *Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018*. Recuperado de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Bases%20Plan%20Nacional%20de%20Desarrollo%202014-2018.pdf>.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2007). *Documento Conpes Social 113. Política Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional (PSAN)*. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/Documentos%20y%20Publicaciones/POL%C3%8DTICA%20NACIONAL%20DE%20SEGURIDAD%20ALIMENTARIA%20Y%20NUTRICIONAL.pdf>.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2011). *Conpes 3697. Política para el desarrollo comercial de la biotecnología a partir del uso sostenible de la biodiversidad*. Bogotá, Colombia: Autor.
- Departamento de Planeación Nacional (DNP). (2012). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. ABC: adaptación bases conceptuales. Marco conceptual y lineamientos*. Bogotá, Colombia: Autor.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2015). *El campo colombiano: un camino hacia el bienestar y la paz*. Bogotá, Colombia: Autor.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2016). *Conpes de Política de CTI, 2015- 2025*. Bogotá: Autor.
- Dobson, W. D., & Akridge, J. T. (1989). Establishing agribusiness research priorities and coordinating agribusiness research. *Agribusiness*, 5(4), 315-333.
- Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia (Fedebiocombustibles). (s. f.). *Cifras Informativas del Sector Biocombustibles - Alcohol Carburante (Etanol Anhidro)*. Recuperado de <http://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-487.htm>.
- Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas (Fenalce). (2015). *Indicadores cerealistas*. Recuperado de: <http://www.fenalce.org/archivos/Indicador%20Cerealista%202015.pdf>.
- Fischer, G., Prieler, S., van Velthuizen, H., Berndes, G., Faaij, A., Londo, M., & de Wit, M. (2010). Biofuel production potentials in Europe: sustainable use of cultivated land and pastures, Part II: Land use scenarios. *Biomass and Bioenergy*, 34(2), 173-187.
- Flórez-Martínez, D. H. & Uribe-Galvis, C. P. (en prensa). *TIC para la investigación, desarrollo e innovación*. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

- Flórez Martínez, D. H., & Ward Argota, S. (2013). Diseño de una minicadena productiva para apicultura orgánica en San Andrés Islas a través de un itinerario de ruta como herramienta de gestión e integración. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 14(2), 129-147.
- Flórez-Martínez, D.-H., Moreno-Valderrama, M. N., & Uribe-Galvis, C.-P. (2017). Diseño metodológico para la construcción de política pública en I+D+i, caso de estudio: sector agropecuario colombiano. Ponencia presentada en *vii Congresso Internacional de Conhecimento e Inovação*. Foz de Iguazú, Brasil.
- Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA). (2011). *El futuro de la seguridad alimentaria y nutricional mundial*. Recuperado de: <https://www.ifad.org/documents/10180/efb49f84-0d47-4248-8f26-0ff51dc4f723>.
- Foro de las Américas para la Investigación y Desarrollo Tecnológico Agropecuario (Foragro). (2010). *Agricultura y prosperidad rural desde la perspectiva de investigación e innovación tecnológicas en América Latina y El Caribe*. Montpellier, Francia: Autor.
- Ganado Criollo Colombiano. (s. f.). *Razas*. Recuperado de <http://www.ganadocriollo-colombiano.com/razas-2>.
- Gasmi, F., & Recuero-Virto, L. (2005). *Telecommunications technologies: Deployment in developing countries*. *Communications & Strategies*, (58), 19-41.
- Gasparatos, A., Lee, L. Y., von Maltitz, G. P., Mathai, M. V., de Oliveira, J. A. P., & Willis, K. J. (2012). *Biofuels in Africa impacts on ecosystem services, biodiversity and human well-being*. Yokohama, Japón: United Nations University, University of Oxford, and Council for Scientific and Industrial Research (CSIR) South Africa
- Gentilini, U. (2002). *Sviluppo dell'aiuto alimentare ed aiuto alimentare per lo sviluppo*. Roma, Italia: Università degli Studi di Roma Tre.
- Gibbons, P. T., & Prescott, J. E. (1996). Parallel competitive intelligence processes in organizations. *International Journal of Technology*, 11(1-2), 162-178.
- Giuffré, L., Ratto, S., Marbán, L., Schonwald, J., & Romaniuk, R. (2005). Riesgo por metales pesados en horticultura urbana. *Ciencia del Suelo*, 23(1), 101-106.
- Gligo, N. (1987). El concepto de sustentabilidad ambiental en las estrategias de desarrollo. *Ambiente y Desarrollo*, 3(1 y 2), 17-19.

- Guerra de la Espriella, M. R., & Oviedo-Arango, J. D. (2011). *De las telecomunicaciones a las TIC: ley de TIC de Colombia (L1341/09)* [Serie Estudios y perspectivas - Colombia N.º 22]. Bogotá, Colombia: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal).
- Gutiérrez, M. E., & Espinosa, T. (2010). *Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. Diagnóstico inicial, avances, vacíos y potenciales líneas de acción en Mesoamérica*. Washington D. C., EE. UU.: Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- High Level Panel of Experts (HLPE). (2013a). *Inversión en la agricultura a pequeña escala en favor de la seguridad alimentaria*. Roma, Italia: Autor.
- High Level Panel of Experts (HLPE). (2013b). *Los biocombustibles y la seguridad alimentaria*. Roma, Italia: Autor.
- Instituto Colombiano de Desarrollo Rural (Incoder). (s. f.). *Proyectos exitosos en pesca y acuicultura*. Recuperado de <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A5351e/A5351e.pdf>.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2010). *Estudio Nacional del Agua 2010*. Bogotá, Colombia: Autor.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH), Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Invemar), Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (Sinchi), & Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP). (2007). *Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).
- Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF). (2009). *Encuesta nacional de la situación nutricional en Colombia 2010*. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/ED/GCFI/Base%20de%20datos%20ENSIN%20-%20Protocolo%20Ensin%202010.pdf>.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2012). *Estudio de los conflictos de uso del territorio colombiano escala 1:100.000*. Bogotá: Autor.
- International Food Policy Research Institute (IFPRI). (2016). *Global food policy report*. Washington D. C., EE. UU.: Autor.
- Jaffé-Carbonell, W., & Infante, D. (1996). *Oportunidades y desafíos de la biotecnología para la agricultura y agroindustria de América Latina y el Caribe*. Washington D. C., EE. UU.: Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

- Kircher, M. (2010). *Trends in technology applications*. Recuperado de <http://www.oecd.org/sti/emerging-tech/44777203.pdf>.
- Lau, Ch., Jarvis, A., & Ramírez, J. (s. f.). *Agricultura colombiana: adaptación al cambio climático*. Recuperado de http://dapa.ciat.cgiar.org/wp-content/uploads/2013/02/politica_sintesis1_colombia_cambio_climatico.pdf.
- Lede, S. (s. f.). *Los biocombustibles*. Buenos Aires, Argentina: ArgenBio.
- Lee, W. S., Alchanatis, V., Yang, C., Hirafuji, M., Moshou, D., & Li, C. (2010). Sensing technologies for precision specialty crop production. *Computers and Electronics in Agriculture*, 74(1), 2-33.
- Linstone, H. A., & Turoff, M. (Eds.). (2002). *The Delphi Method. Techniques and applications*. Recuperado de <https://web.njit.edu/~turoff/pubs/delphibook/delphibook.pdf>.
- Lobo-Arias, M., & Medina Cano, C. I. (2009). Conservación de los recursos genéticos de la agrobiodiversidad como apoyo al desarrollo de sistemas de producción sostenibles. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 10(1), 33-42.
- Machado, C. M. M. (s. f.). *Situación de los biocombustibles de 2da y 3era generación en América Latina y Caribe*. Recuperado de <http://www.bivica.org/upload/biocombustibles-situacion.pdf>.
- Medina Vásquez, J., & Ortégón, E. (2006). *Manual de prospectiva y decisión estratégica: bases teóricas e instrumentos para América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES).
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (s. f.) *Sistema de Información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadenas*. Recuperado de <https://sioc.minagricultura.gov.co/Pages/SIOC.aspx>.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2006). *Estrategia de desarrollo de biocombustibles: implicaciones para el sector agropecuario*. Recuperado de http://www.semillas.org.co/apc-aa-files/5d99b14191c59782eab3da99d8f95126/biocombustibles.Politica_M._Agricultura.2007.pdf.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2014). Plan de acción sectorial (PAS) de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI), sector agropecuario. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/planes_sectoriales_de_mitigaci%C3%B3n/PAS_Agropecuario_-_Final.pdf.

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (s. f.a). *Política nacional de biodiversidad*. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Politica-Nacional-de-Biodiversidad/politica_nacional-biodiversidad.pdf.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (s. f.b). *Objetivos*. Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/ministerio/objetivos-y-funciones>.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2012). *Política nacional para la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos (PNGIBSE)*. Bogotá, Colombia: Autor.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2013). *Política nacional para la gestión integral ambiental del suelo (GLAS)*. Bogotá, Colombia: Autor.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). (2007). *Plan Estratégico Nacional de Investigación Ambiental (Penia)*. Bogotá, Colombia: Autor.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) & Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). (2008). *Evaluación ambiental estratégica de políticas, planes y programa de biocombustibles en Colombia con énfasis en biodiversidad*. Bogotá, Colombia: Autores.
- Ministerio de Minas y Energía (MME). (s. f.). *Política general en materia de biocombustibles*. Recuperado de <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/488888/Politica.pdf/dac8566c-33e4-426c-8960-b3bd204abc23>.
- Ministerio de Salud y Protección Social (MSPS). (2015). *Estrategia nacional para la prevención y control de las deficiencias de micronutrientes en Colombia 2014-2021*. Bogotá, Colombia: Autor.
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC). (2013). *Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para el desarrollo de los sectores electrónica, tecnologías de la información y las comunicaciones (ETIC)*. Bogotá, Colombia: Autor.
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC). (2015). *Plan Vive Digital 2014-2018: iniciativa TIC y Agro*. Bogotá, Colombia: Autor.

- Miranda, D., Carranza, C., Rojas, C., Martín, J., Fischer, G., & Zurita, J. (2008). Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del río Bogotá. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 2(2), 180-191.
- Mojica, F., & Restrepo F. G. (1991). *La prospectiva: técnicas para visualizar el futuro*. Bogotá, Colombia: Legis.
- Montañez, M., & Castellanos, O. (2007). *Aplicación de la inteligencia tecnológica para el direccionamiento estratégico de sistemas de integración productiva. Caso: cadena productiva del tabaco en Colombia*. Documento presentado en XI Congreso Internacional de la Academia de Ciencias Administrativas. Yucatán, México.
- Mussatto, S. I., Dragone, G., Guimarães, P. M., Silva, J. P., Carneiro, L. M., Roberto, I. C., ... Teixeira, J. A. (2010). Technological trends, global market, and challenges of bio-ethanol production. *Biotechnology Advances*, 28(6), 817-830
- Naciones Unidas. (1992). *Convenio sobre la diversidad biológica*. Recuperado de <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>.
- Nágel, J. (2012). *Principales barreras para la adopción de las TIC en la agricultura y en las áreas rurales*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal).
- Naisbitt, J. (1984). *Megatrends*. Nueva York, EE. UU.: Warner Books.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (s. f.a). *Portal terminológico de la FAO*. Recuperado de <http://www.fao.org/faoterm/en/?defaultCollId=1>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (s. f.b). *Food and agriculture data*. Recuperado de <http://faostat3.fao.org/home/S>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (1996). *Declaración de Roma sobre la seguridad alimentaria mundial*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/003/w3613s/w3613s00.HTM>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2004). *Política de desarrollo agrícola: conceptos y principios*. Roma, Italia: Autor.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2006). *Seguridad alimentaria* [Informe de políticas, N.º 2]. Recuperado de [file:///D:/Descargas/259762759.FAO.%202006.%20Seguridad %20alimentaria.%20Informe%20de%20Pol%C3%ADticas.pdf](file:///D:/Descargas/259762759.FAO.%202006.%20Seguridad%20alimentaria.%20Informe%20de%20Pol%C3%ADticas.pdf).

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2008a). *Bosques y energía: cuestiones claves*. Roma, Italia: Autor.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2008b). *La importancia de la biodiversidad agrícola para la seguridad alimentaria, la nutrición y la calidad de vida en América Central*. San José de Costa Rica: Autor
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2010). *Bioenergía para el desarrollo sostenible: políticas públicas sobre biocombustibles y su relación con la seguridad alimentaria en Colombia*. Roma, Italia: Autor.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2011a). *Biotechnologies for agricultural development*. Roma, Italia: Autor.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2011b). *The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW). Managing systems at risk*. Roma, Italia: Autor.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2011c). *Volatilidad de precios en los mercados agrícolas (2000-2010): implicaciones para América Latina y opciones de políticas* [Boletín N° 1 Cepal/FAO/IICA]. Recuperado de: http://argus.iica.ac.cr/Esp/regiones/sur/chile/Documents/Boletin%20Cepal_fao_iica.pdf.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2015a). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación, la protección social y la agricultura: romper el ciclo de la pobreza rural*. Roma, Italia: Autor.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2015b). *Proyectos de elementos para facilitar la aplicación nacional del acceso y distribución de beneficios en diferentes subsectores de los recursos genéticos para la alimentación y la agricultura*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-mm521s.pdf>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2015c). *Biodiversidad para la seguridad alimentaria y la nutrición: 30 años de la Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura*. Recuperado de <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/es/c/174210/>.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2005). *A Framework for Biotechnology Statistics*. París, Francia: Autor.

- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2015). *Estudios económicos de la OCDE Colombia*. Recuperado de https://www.oecd.org/eco/surveys/Overview_Colombia_ESP.pdf.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) & International Energy Agency. (2010). *Sustainable production of second-generation biofuels. Potential and perspectives in major economies and developing countries*. Paris, Francia: Autores.
- Orozco, O. A., & Llano, G. (2016). Sistemas de información enfocados en tecnologías de agricultura de precisión y aplicables a la caña de azúcar, una revisión. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 15(28), 83-102.
- Ortega San Martín, F. (2002). *La prospectiva: herramienta indispensable de planeamiento en una era de cambios*. Recuperado de <file:///D:/Descargas/PROSPECTIVA2.PDF>.
- Overseas Development Institute (ODI). (2004). *Information and communication technology in agricultural development: A comparative analysis of three projects from India*. Recuperado de: <http://www.odi.org/sites/odi.org.uk/files/odi-assets/publications-opinion-files/5186.pdf>.
- Padulosi, S., Thompson, J., & Rudebjer, P. (2013). *NUS Fighting poverty, hunger and malnutrition with neglected and underutilized species: needs, challenges and the way forward*. Roma, Italia: Bioversity International.
- Pelkmans, L., Govaerts, L., & Kessels, K. (2008). *Inventory of biofuel policy measures and their impact on the market. Report D21 of ELOBIO*. Petten, Holanda: Energy Research Center of the Netherlands.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2010). *El cambio climático en Colombia y en el sistema de naciones unidas*. Bogotá D. C., Colombia: Autor.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2015). *Objetivos de desarrollo del milenio: informe 2015*. Bogotá D. C., Colombia: Autor.
- Prieto, M. C., Rodríguez, F. C., Vera, H. I., Patiño, N., Londoño, D., & Lancharos, T. (2011). *Determinación de metales pesados en hortalizas distribuidas en plazas de mercado, centros de abasto e hipermercados de la ciudad de Bogotá*. Recuperado de http://biblioteca.saludcapital.gov.co/img_upload/57c59a889ca266ee6533c26f970cb14a/documentos/METALES_PESADOS.pdf.
- Prosperidad Social (2015). *Informe de gestión 2015*. Recuperado de <http://www.prosperidadsocial.gov.co/ent/gen/trs/Documents/Informe%20de%20Gesti%C3%B3n%20Prosperidad%20Social%202015.pdf>.

- Queirolo, F., Stegen, S., Restovic, M., Paz, M., Ostapczuk, P., Schwuger, M. J., & Muñoz, L. (2000). Total arsenic, lead, and cadmium levels in vegetables cultivated at the Andean villages of northern Chile. *The Science of the Total Environment*, 255(1-3), 75-84.
- Ragauskas, A. J., Williams, C. K., Davison, B. H., Britovsek, G., Cairney, J., Eckert, C. A., ... Tschaplinski, T. (2006). The path forward for biofuels and biomaterials. *Science*, 311(5760), 484-489.
- Rascio, N. & Navari-Izzo, F. (2011). Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant Sciences*, 180(2), 169-181.
- Rehman, A., Zafar, A., Islam, N., & Shaikh, Z., A. (2014). A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture. *Computer Standards & Interfaces*, 36(2), 263-270.
- Samaniego, J. (2009). *Cambio climático y desarrollo en América Latina y el Caribe: una reseña*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal) y Cooperación Técnica Alemana (GTZ).
- Sandlund, O. T., Hindar, K., & Brown, A. H. D. (1992). *Conservation of biodiversity for sustainable development*. Oslo, Noruega: Scandinavian University Press.
- Saura-Calixto, P. & Hernández-Prados, M. A. (2008). La evolución del concepto de sostenibilidad y su incidencia en la educación ambiental. *Teoría de la Educación*, 20, 179-204.
- Scopus. (s. f.). *Document search*. Recuperado de <https://www-scopus-com.recursos.corpoica.org.co/search/form.uri?display=basic>.
- Siembra (s. f.). *Capacidades del SNCTA*. Recuperado de <http://www.siembra.gov.co/siembra/Agenda.aspx>.
- Simon, G. (2009). Seguridad alimentaria y desarrollo. *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, (224), 1-32. Recuperado de http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/185957/2/pdf_REEAP_r224_19_45.pdf.
- Smith, M., Pointing, J., & Maxwell, S. (1992). Household food security: Concepts and definition. En S. Maxwell & T. R. Frankenberger (Eds.), *Household food security: Concepts, indicators, measurements*. (pp. 136-142) Nueva York, EE. UU.: Unicef.
- The Council of State Governments. (2017). *Megatrends*. Recuperado de <http://ssl.csg.org/Trends/Megatrends%20Definitions%20and%20Categories.pdf>.

- Torres, L., Flórez Martínez, D., Castellanos, O., & Contreras, C. (2009). *Orientación de actividades de I&D mediante la vigilancia comercial en la producción de derivados de la caña de azúcar*. Documento presentado en IV Congreso Iberoamericano de Innovación Tecnológica basado en TRIZ. Santiago de Chile.
- Trigo, E., Falck-Zepeda, J., & Falconi, C. (2010). *Biotecnología agropecuaria para el desarrollo en América Latina: oportunidades y retos*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y Banco Iberoamericano de Desarrollo (BID).
- United States Department of Agriculture (USDA). (2018). *USDA Agricultural Projections to 2027*. Recuperado de https://www.usda.gov/oce/commodity/projections/USDA_Agricultural_Projections_to_2027.pdf.
- Universidad Nacional Autónoma de México. (2008). *Diagnóstico y autoevaluación*. Recuperado de http://www.ibt.unam.mx/computo/pdfs/docs/DiagAutoEval_IBT_Nov_5_08.ppt.
- Uribe Galvis, C. P., Sarmiento Moreno, L. F., Bochno Hernández, E., Andrade Benítez, G., Sánchez Rojas, M. R., & Hernández Iglesias, N. (2011). *Agenda prospectiva de investigación, desarrollo tecnológico e innovación para la seguridad alimentaria colombiana, vista desde la disponibilidad de alimentos*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).
- Vargas, F., & Castellanos, O. (2005). Vigilancia como herramienta de innovación y desarrollo tecnológico. Caso de aplicación: sector de empaques plásticos flexibles. *Ingeniería e Investigación*, 25(2), 32-41.
- Zeev Efrat. (s. f.). World's top global mega trends to 2020 and implications to business, society and cultures. Recuperado de [http://www.bar-oriyan.com/Portals/0/mega%20trands%20exec%20summary%20v3%20\(1\).pdf](http://www.bar-oriyan.com/Portals/0/mega%20trands%20exec%20summary%20v3%20(1).pdf).





Anexos

Anexo 1. Consolidado de estrategias en megatendencias

A continuación, se detallan las principales estrategias en megatendencias consideradas dentro del Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación Agroindustrial Colombiano (Pectia), que fueron validadas por distintos actores partícipes, expertos en los temas específicos y representantes de la institucionalidad sectorial. Dichas directrices fueron discutidas y validadas con relación a su especificidad (tabla A.1).

Directrices de tecnologías de la información y las comunicaciones

Tabla A.1. Directrices de tecnologías de la información y las comunicaciones como soporte a la I+D+i sectorial

Directriz	Eje temático
Aumentar y mejorar la infraestructura y conectividad de internet en el país, para llegar no solo a las cabeceras municipales, sino también a las veredas, con un costo subsidiado al campesino, canalizando los recursos públicos (regalías, dineros municipales y departamentales) y la inversión privada (fondo telecomunicaciones) para su implementación.	Capacidades (RH-infraestructura).
Aumentar los niveles de educación del adulto en el campo, por medio del desarrollo de un esquema de formación semipresencial y desescolarizado, con una metodología de alfabetización digital; esto facilitaría la cobertura al permitir llegar a todas las zonas del país.	Capacidades (RH-Infraestructura).

(Continúa)

Directriz	Eje temático
Desarrollar un esquema de capacitación a docentes rurales, que responda a las necesidades de formación en el campo colombiano, en los que se incluyan metodologías de enseñanza de aprender haciendo, integración de tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) (radio, internet, computadores).	Capacidades (RH-infraestructura).
Mejorar la oferta de formación terciaria en las zonas rurales, con programas que se ajusten a las necesidades del campo colombiano, con una política de vinculación del personal formado al campo, y así aumentar la cantidad de personas jóvenes en el campo.	Capacidades (RH-infraestructura).
Evaluar las herramientas en tecnologías de la información (TI) actuales, que gestionen información pertinente para los procesos de tomas de decisiones estratégicas, caracterizar su estado actual y diseñar planes de mejora en el corto plazo, para dar soporte a las entidades territoriales en términos de cobertura e infraestructura.	I+D+i.
Desarrollo y soluciones de TIC que se ajusten a la creciente cobertura móvil en términos de acceso a internet, así como la cobertura móvil (equipos) hacia el diseño de aplicaciones para captura, procesamiento y envío de información bidireccional en las unidades productivas.	I+D+i.
Diseño e integración de soluciones tecnológicas en software para la gestión de mercados agrícolas a nivel interno, para cadenas productivas priorizadas a través de estrategias de <i>e-marketing</i> , <i>e-commerce</i> , <i>e-business</i> , trazabilidad de productos y cadenas de suministro inteligentes que integren operadores logísticos regulados y acompañamiento gubernamental.	I+D+i.
Diseñar convocatorias para el desarrollo de soluciones a las demandas de la agenda única nacional, que involucren empresas desarrolladoras, grupos de investigación en áreas específicas del agro, grupos de investigación en áreas TIC y beneficiarios directos. Estrategias de cocreación con el usuario.	I+D+i.

(Continúa)

(Continuación tabla A.1)

Directriz	Eje temático
Fortalecer las líneas estratégicas de investigación especializadas en temáticas transversales, como seguridad alimentaria, a través de sistemas de trazabilidad en la cadena de suministros agroalimentaria, sistemas de información especializados en genómica (bioinformática) y sostenibilidad ambiental (climatología y riesgo climático agropecuario), y promoción de servicios especializados en bioinformática a través de redes de cooperación entre grupos de investigación, desde el fortalecimiento de la estructura investigativa.	I+D+i.
Priorizar como línea temática de investigación para convocatorias de proyectos e iniciativas de desarrollo tecnológico la agricultura de precisión o agricultura específica por sitio, como herramienta clave para mejorar los indicadores de uso del suelo, así como la incidencia en los niveles de productividad en las cadenas productivas nacionales.	I+D+i.
Consolidar la oferta de información estratégica sectorial desde la institucionalidad adscrita y vinculada, para la priorización y requerimientos de las diferentes entidades y actores del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología Agroindustrial (SNCTA).	Gobernanza e institucionalidad.
Diseñar el catálogo de oferta de información estratégica sectorial, bajo el marco normativo de la política de datos abiertos.	Gobernanza e institucionalidad.
Promover a través de los dominios normativos del marco de referencia de arquitectura empresarial para la gestión de TI la generación del ciclo de desarrollo sectorial de TI, para la consolidación de la oferta priorizada de información.	Gobernanza e institucionalidad.
Promoción y consolidación del acceso y difusión (flujo bidireccional) de información de calidad para la toma de decisiones a través de TI en monitoreo y validación de datos en campo, bajo un sistema satelital sectorial y sistemas de soporte a las decisiones.	Gobernanza e institucionalidad.

(Continúa)

(Continuación tabla A.1)

Directriz	Eje temático
Diseñar un ambiente legal para la confidencialidad e interoperabilidad unificado, que garantice la disponibilidad, el acceso y uso de información interinstitucional a nivel público y privado.	Gobernanza e institucionalidad.
Articulación de las necesidades de información en ciencia, tecnología e investigación (CTi), mercados, sector público y sector privado, bajo un esquema operativo-estratégico empresa-universidad-Estado que permita la generación de información faltante.	Gobernanza e institucionalidad.
Consolidación de la cadena de valor TIC-Agro para su integración con la estructura organizacional de cadenas productivas a través del modelo arcoíris TIC, y así responder a la demanda interna y externa.	Gobernanza e institucionalidad.
Caracterizar al usuario en función de sus necesidades desde el punto de vista de las TIC, a partir del contexto territorial y sectorial para determinar la demanda y el impacto (analfabetismo tecnológico).	Transferencia de tecnología y asistencia técnica.
Desarrollar y operativizar la línea estratégica de soluciones <i>big data</i> y <i>cloud computing</i> para temas específicos con relación a los sistemas productivos de los productores en agrobiodiversidad, cambio climático, recolección de datos de cultivos en tiempo real, almacenamiento de información genética vegetal y animal (bioinformática).	Transferencia de tecnología y asistencia técnica.
Incluir el enfoque de e-agricultura en los mecanismos de transferencia de tecnología como herramienta complementaria a la articulación del modelo arco iris.	Transferencia de tecnología y asistencia técnica.
Investigar y adaptar infraestructura tecnología para registro, monitoreo y transmisión de datos <i>in situ</i> en unidades productivas de los productores.	Transferencia de tecnología y asistencia técnica.
Establecer un programa de vigilancia tecnológica con enfoque de innovación abierta con relación a las TIC en el contexto territorial y sectorial, que permita contar con soluciones que respondan a las demandas de los productores.	Transferencia de tecnología y asistencia técnica.

(Continúa)

(Continuación tabla A.1)

Directriz	Eje temático
Generar una política para fomentar espacios de interacción en red y trabajo colaborativo entre investigadores y actores del SNCTA en torno a la perspectiva de I+D+i en el agro.	Transferencia de tecnología y asistencia técnica.
Consolidación de una plataforma de precios que beneficie a los pequeños productores, administrada por el sector público, cuyos datos suministrados al usuario estén basados en estudios de mercado y de impacto social con participación del sector bancario, y que presente un análisis regionalizado a través de los diferentes sistemas de georreferenciación.	Gestión de mercados y financiación.
Promover la educación virtual, capacitación y consulta permanente en temas de formulación de proyectos para el campesino, con una herramienta enfocada hacia la web que esté articulada con los programas de instituciones como el Servicio Nacional de Aprendizaje (Sena) e instituciones de educación superior del sector, con libros virtuales (<i>e-books</i>) y escuelas de formación agropecuaria.	Gestión de mercados y financiación.
Generar una escuela virtual de agronegocios desde las asociaciones, secretarías, universidades y demás instituciones del sector a través de herramientas tecnológicas de masificación, el cual incluya kioscos ubicados geográficamente con apoyo de herramientas de sistemas de información geográfica (SIG), que tengan datos actualizados para garantizar una cobertura mucho más amplia de la que se presenta en la actualidad y con una característica especial de vigilancia permanente por parte de personal designado por el Estado, que en gran medida sean personas reinsertadas y que demuestren interés por el tema (internet rural).	Gestión de mercados y financiación.

Fuente: Elaboración propia

Directrices en biotecnología y biodiversidad

Gobernanza e institucionalidad

- Diseño e implementación de acciones para la protección del conocimiento tradicional que incorpore el relacionado con la agrobiodiversidad y la alimentación tradicional, a través de la promoción de canales de comercialización y seguridad alimentaria, y bienestar para los productos provenientes de esta.
- Integrarse al proyecto Colombia BIO y a iniciativas similares que sean de interés nacional estratégico (Planes integrales nacionales estratégicos [PINE]), para la orientación de sistemas productivos basados en biodiversidad, que contemplen factores como seguridad alimentaria, cambio climático, generación de ingresos, provisión de servicios ambientales y recuperación de tierras degradadas; esto, a través de biotecnología y otros elementos, por ejemplo, la seguridad alimentaria, como herramientas clave.
- Integrar o incorporar en el plan de acción de la política de biodiversidad las directrices para la obtención de productos a partir de recursos de la biodiversidad.
- Integrar las distintas estrategias propuestas por los entes privados y públicos en materia de I+D+I a partir de la biodiversidad, para evitar la duplicación de esfuerzos y fortalecer las alianzas estratégicas.
- Creación de la Red Nacional e Internacional de Investigación en Agrobioprospección (Rediab), con el fin de compartir información, metodologías, infraestructura y demás recursos indispensables para el desarrollo de investigaciones biotecnológicas interinstitucionales; todo teniendo como base principios y políticas de reciprocidad, libertad, convicción, confianza y respeto por la propiedad intelectual de sus miembros.
- Fortalecer la relación existente entre las instituciones de investigación y la academia con la industria y las entidades gubernamentales en Colombia, para que se maximice la utilización de los recursos en infraestructura física (por ejemplo, equipos de investigación costosos) y se provea una experiencia más amplia y socialmente relevante (por ejemplo, estudiantes que buscan estudios avanzados a nivel de posgrado). Lo anterior como posible marco de referencia sobre el cual Colombia podría construir su infraestructura de bioprospección.

- Uso sostenible de los recursos genéticos, biológicos y sus productos derivados a través de la biotecnología y la bioprospección, involucrando conocimiento tradicional y aspectos de protección de propiedad intelectual, entre otros.

Investigación, desarrollo e innovación

- Realización de investigaciones en bioprospección sobre especies promisorias para el desarrollo de cadenas productivas y sistemas productivos con enfoque territorial, a través de clústeres tecnológicos o alianzas entre agentes del conocimiento empresa-Estado.
- Desarrollo de investigación e innovación en manejo de cosecha y transformación, con énfasis en calidad e inocuidad para ampliar las posibilidades de mercado interno y externo a través de alianzas público-privadas.
- Desarrollo de variedades (hortalizas, raíces, tubérculos y frutales) por medio del mejoramiento genético específico en contenido nutricional, percepción organoléptica, resistencia a plagas, enfermedades y estrés abiótico, y que estos sean competitivos en mercados diferenciados.
- Fortalecimiento de las líneas de investigación en inocuidad en sistemas productivos agrícolas, pecuarios y forestales para una producción limpia.
- Diseño y fortalecimiento de líneas de investigación para la producción y optimización sostenible de biocombustibles de segunda y tercera generación, a partir del aprovechamiento de la biodiversidad agrícola.
- Mejoramiento genético asistido por marcadores moleculares y desarrollo de estrategias de incremento poblacional de especies pecuarias que tengan importancia económica y que estén adaptadas a condiciones ecoclimáticas
- Fortalecimiento de la investigación en el desarrollo de bioinsumos con énfasis en pequeños productores, por medio de herramientas moleculares y biotecnológicas de última generación.
- Fortalecimiento de los bancos de germoplasma de animales, plantas y microorganismos de interés agropecuario a través de la conservación, caracterización y promoción de uso.
- Impulso de estrategias de producción agrícola y pecuaria que maximicen el rendimiento y reduzcan el impacto ambiental.

Transferencia de tecnología y asistencia técnica

- Promover y fortalecer procesos de transferencia de tecnología, teniendo en cuenta lo que implica el desarrollo de la biotecnología para su efectiva aplicación en el mercado, además, considerando diferentes campos del conocimiento, propiedad intelectual (protección, valoración y negociación de la tecnología), esquemas de vigilancia de la frontera tecnológica, articulación de actores y mecanismos de gestión de la innovación.
- Diseñar estrategias y mecanismos para incorporar el conocimiento tradicional y práctico de las comunidades rurales, para el eventual desarrollo de soluciones biobasadas con aplicación en el sector agrícola y pecuario, a través de un correcto enfoque y de mecanismos de transferencia de tecnología.
- Diseñar mecanismos para la transferencia de *know-how* e implementar mejores prácticas en agricultura, que involucren el desarrollo de capacidades de todos los miembros del SNCTA a lo largo de la cadena de agregación de valor.
- Garantizar la articulación entre la política pública y los procesos de investigación y transferencia de tecnología, para asegurar su pertinencia a través de acciones consensuadas.
- Promover en las instituciones encargadas del desarrollo de productos basados en biotecnología los mecanismos para hacer efectivos los procesos de transferencia de tecnología a los diferentes actores del sistema.

Capacidades (recurso humano-infraestructura)

- Fortalecimiento de la capacidad investigativa nacional a través de convocatorias de alto nivel, en áreas prioritarias a la biotecnología agropecuaria.
- Levantamiento de una línea de base de la capacidad nacional para el desarrollo de investigación en las principales instituciones del país.
- Conformación de una red nacional de laboratorios, que permita conocer la oferta de servicio de las instituciones de investigación en biotecnología del país, con el fin de facilitar las actividades de investigación.
- Fortalecimiento de la capacidad de técnicos y tecnólogos mediante el ajuste de los programas de formación, de acuerdo con las necesidades del sector.
- Incorporación efectiva de la biotecnología y la biodiversidad a los programas de formación afines al sector agroindustrial, mediante el diseño de líneas de investigación o profundización en los programas académicos.

Gestión de mercados y finanzas

- Desarrollo de casos de negocio enfocados en productos de base biotecnológica que permitan generar soluciones de impacto a las demandas del sector agrícola; estudios conjuntos de oferta y demanda en biosoluciones.
- Fortalecimiento del marco regulatorio desde una orientación de incentivos que promuevan el mercado de productos biotecnológicos para el sector agropecuario.
- Diseño, desarrollo e implementación de un portafolio de instrumentos de fomento, financiación e inversión para la promoción de negocios biotecnológicos a lo largo de la cadena de valor.
- Promoción y atracción de diferentes fuentes de inversión en negocios biotecnológicos del sector agro a través de características diferenciadoras como país.
- Integración de un capítulo especial de biotecnología para el sector agropecuario en las plataformas tecnológicas actuales y para el desarrollo de negocios.

A continuación, se presentan las directrices en sostenibilidad ambiental, cambio climático y variabilidad climática (tabla A.2).

Tabla A.2. Estrategias en sostenibilidad ambiental, variabilidad y cambio climático

Enfoque macro Promover el desarrollo sostenible de los agroecosistemas a escala territorial, con base en la coordinación interinstitucional (pública y privada) y la gestión del conocimiento, ambiental y social, incluyendo el conocimiento y los saberes de las comunidades nativas y los agricultores sobre riesgos y adaptación a la variabilidad climática.			
	Estrategias definitivas	Temporalidad	Orden de prioridad
E1	Contribuir a la zonificación integral de riesgos y oportunidades agroclimáticas del país, a través del trabajo y la coordinación interinstitucional para el uso de información específica sobre función ecológica del territorio, oferta ambiental, biofísica y socioeconómica, paisajes funcionales, etc.	Corto plazo	2
E2	Coordinar acciones interinstitucionales entre los actores del SNCTA y el Sistema Nacional Ambiental (SINA), para una adecuada toma de decisiones y formulación de políticas en el territorio, con relación a la sostenibilidad ambiental, variabilidad y cambio climático.	Corto plazo	1
E3	Generar y articular conocimiento propio, información, metodologías, saberes ancestrales y una línea de base de medición, seguimiento y evaluación de impacto, acorde con las condiciones regionales de clima, suelo, agua, cultura y biodiversidad del territorio en nuestra condición de país intertropical-ecuatorial.	Mediano plazo	5
E4	Identificar, generar y evaluar alternativas para el uso de la biodiversidad territorial con capacidad de adaptación a variabilidad climática, que puedan vincularse a programas de seguridad alimentaria y mercados agroalimentarios con productos de valor agregado.	Mediano plazo	7

(Continúa)

(Continuación tabla A.2)

	Estrategias definitivas	Temporalidad	Orden de prioridad
E5	Identificar las necesidades de CTi de acuerdo con la heterogeneidad territorial en el marco de la variabilidad y el cambio climático.	Corto plazo	6
E6	Gestión del riesgo integral para la adaptación y reducción de los efectos adversos de la variabilidad climática en los territorios (gobernanza ambiental local), a partir de la corresponsabilidad en planificación, uso, manejo, conservación y monitoreo de la base de recursos naturales y su funcionalidad.	Mediano plazo	3
E7	Educar y formar competencias ciudadanas, y construir liderazgo para la gestión ambiental a escala territorial.	Largo plazo	11
E8	Generar alternativas para la reducción del desplazamiento y la movilidad humana, mediante protección, restauración y recuperación funcional de ecosistemas, promoción del desarrollo regional y recuperación de los potenciales productivos de los sistemas agropecuarios con enfoque sostenible.	Largo plazo	8
E9	Formular planes de adaptación y mitigación al cambio climático para las cadenas y los sistemas productivos priorizados, a partir de la incorporación de sistemas de alertas agroclimáticas tempranas (SAAT).	Largo plazo	9
E10	Diseño e implementación del SAAT.	Mediano plazo	4
E11	Promover conocimiento, conservación y uso sostenible de los servicios ecosistémicos como mecanismo para mitigar los efectos en la emisión de gases contaminantes (efecto invernadero, entre otros).	Mediano plazo	10

Fuente: Elaboración propia

Directrices en seguridad alimentaria

A continuación, en la tabla A.3, se presentan las directrices en seguridad alimentaria.

Tabla A.3. Directrices en seguridad alimentaria

Disponibilidad de alimentos	Incrementar la productividad y sostenibilidad de los sistemas de producción agropecuaria, y así fomentar prácticas de manejo agroecológico, asociatividad, producción organizada y planeada; esto con el objetivo de minimizar las pérdidas, fomentar el autoconsumo y garantizar canales de mercadeo para los excedentes de producción.
	Diversificar los sistemas productivos con especies autóctonas o variedades mejoradas con mayores contenidos de micronutrientes adaptados a las condiciones ambientales, con características que contribuyen a incrementar la sostenibilidad de los sistemas de producción (adaptación a las condiciones ambientales locales, tolerancia a sequía, salinidad, acidez y temperaturas extremas, resistentes a plagas o resistentes o tolerantes a enfermedades).
	Fomentar el desarrollo de un sistema de garantías o instrumento de política vinculante, que garantice la compra y distribución de los alimentos producidos en sistemas de producción diversificados con especies autóctonas o variedades mejoradas con mayores contenidos de micronutrientes.
	Promover el rescate de las especies y variedades subutilizadas y olvidadas, considerando aspectos como la conservación de sus áreas de distribución, conservación <i>in situ</i> y <i>ex situ</i> , usos tradicionales, propagación –diseño de esquemas de disponibilidad y acceso a semilla de calidad o plántulas–, cosecha sostenible o prácticas de manejo de cultivo, fomento del consumo y creación de canales de comercialización y distribución.
	Fortalecer la cría de especies menores de animales domésticos y zootecnia, a través de la evaluación de las diferentes especies y razas por sus características productivas, aporte nutricional y potencial económico, y adaptabilidad en diferentes condiciones agroecológicas y socioculturales, para integrar las especies menores en sistemas mixtos de producción.
	Evaluar la oferta de recurso forrajero de alta productividad adaptado a las diferentes ecorregiones colombianas y evaluar sistemas alternativos para la alimentación de especies menores.

(Continúa)

Disponibilidad de alimentos	Desarrollar tecnologías apropiadas para aumentar la productividad y eficiencia en sistemas de agricultura a pequeña y gran escala (por ejemplo, para el uso eficiente de recurso hídrico, uso y adaptación de infraestructuras y tecnologías en sistemas de riego, manejo de la fertilidad del suelo y recuperación de suelos degradados).
	Promover buenas prácticas agrícolas y ganaderas, sustitución de insumos químicos contaminantes, uso eficiente de los recursos naturales, conectividad y conservación de áreas de importancia para la preservación de servicios ecosistémicos en sistemas de producción a pequeña y gran escala.
	Promover procesos de reconversión productiva, restauración ecológica, recuperación y rehabilitación de suelos degradados, con el fin de garantizar la seguridad alimentaria de las poblaciones que habitan en estas áreas.
	Fomentar la investigación para garantizar la provisión de agua con estándares de calidad aptos para consumo humano y para la producción agropecuaria. Adelantar acciones de descontaminación, recuperación y conservación de fuentes hídricas. Fomentar la infiltración de agua, la cosecha de agua y el uso eficiente de esta en los sistemas de riego.
	Fortalecer la gestión de la asistencia técnica y las capacidades para pequeños y grandes productores, con el fin de optimizar sus sistemas productivos y mantener sus medios de vida, y así garantizar la seguridad alimentaria y nutricional.
	Investigar y desarrollar esquemas para el fortalecimiento de la asociatividad de las organizaciones de pequeños productores y sus capacidades en gestión empresarial. Fomentar alianzas con otros productores, comercializadores y el Estado, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población vulnerable.
	Ordenamiento del territorio con el objetivo de delimitar las zonas de producción agroecológica y las de provisión de servicios ecosistémicos que proveen seguridad alimentaria (plantas, animales, hongos y microorganismos). Valoración integral de la importancia de los servicios ecosistémicos de provisión en la seguridad alimentaria nacional (SAN). Fomentar proyectos de zonificación agroecológica, que garanticen la producción sostenible y la preservación de los medios de vida de las comunidades rurales, las minorías étnicas y la población en general.

(Continúa)

Disponibilidad de alimentos	Delimitar y proponer zonas de reserva agrícola y distritos de manejo integrado de suelos y otras figuras de priorización de uso del suelo agropecuario, con el fin de garantizar la seguridad alimentaria y nutricional.
	Fortalecer e implementar las políticas sustentables de producción, distribución y consumo de alimentos, con base en la pequeña y mediana producción acordes con las prácticas productivas tradicionales de las comunidades participantes; todo esto por medio de la implementación de proyectos de soberanía alimentaria.
	Fomentar la realización de estudios de demografía, dinámica poblacional y tasas de cosecha para especies de peces y otros recursos hidrobiológicos de importancia en la seguridad alimentaria en el territorio colombiano.
	Planificación y ordenamiento de las zonas aptas para la acuicultura.
	Evaluar el impacto de la acuicultura sobre las comunidades nativas de peces.
	Impulsar de la agricultura urbana y periurbana como estrategia complementaria de seguridad alimentaria.
Calidad e inocuidad	Realizar investigación basada en las propuestas de priorización en biofortificación (que tengan en cuenta los índices de producción, consumo y deficiencia de micronutrientes y agrobiodiversidad), y complementarlas con estrategias adecuadas de transferencia y adopción de tecnología y evaluación de impacto.
	Realizar procesos de I+D+i y desarrollar mecanismos para transferencia, adopción, fomento, incentivo y control a la aplicación de buenas prácticas agrícolas y pecuarias; manejo de prácticas de producción limpia y ecológica (por ejemplo, estudios de dosificación para fertilizar y aplicar plaguicidas químicos y así promover un uso racional de agroquímicos; evaluación de fuentes alternativas como biofertilizantes e identificación de alternativas de control biológico, químico, cultural; construcción de línea base y desarrollo de estrategias de reducción de la contaminación por microorganismos patógenos en la producción primaria, entre otras) y buenas prácticas de beneficio, de manufactura y de análisis de peligros y puntos críticos de control (APCC).
	Fortalecimiento de infraestructura y capacidades (por ejemplo, laboratorios de referencia) para el desarrollo y la validación de las tecnologías utilizadas en inspección, vigilancia y control.

(Continúa)

Calidad e inocuidad	Implementación de sistemas de trazabilidad estandarizados para la gestión de información a lo largo de las cadenas productivas agroalimentarias, complementados con estudios de exposición humana y animal a contaminantes físicos, químicos y biológicos.
	Realizar procesos de I+D+i y desarrollar mecanismos para la transferencia de tecnologías en manejo poscosecha, transformación de productos y fortificación para su consumo en fresco o procesado, que preserven sus valores nutricionales y garanticen su inocuidad (por ejemplo, diseño de empaques para reducir riesgos que demeriten la calidad e inocuidad de los productos, y que estos últimos sean preparados con ingredientes nativos, que sean funcionales, nutracéuticos y que cumplan con estándares de calidad, entre otros).
	En el marco de la política de seguridad alimentaria, se debe hacer hincapié en las medidas adecuadas y la institucionalidad que garanticen la calidad e inocuidad en el suministro de alimentos.
	Identificar las demandas específicas de las autoridades sanitarias para formular una agenda de I+D+i en materia de sanidad, salud pública e inocuidad.
	Generar investigación sobre hábitos y tendencias alimenticios, que sirvan de insumo para la orientación de las actividades de I+D+i, el desarrollo y la implementación de estrategias de educación nutricional y sanitaria.
	Desarrollar para los pequeños productores estudios de tendencias del mercado y preferencias del consumidor, estrategias productivas, herramientas de promoción y políticas para satisfacer la demanda de nichos especializados.
	Promoción de esquemas educativos a nivel territorial en temas de salud pública, seguridad alimentaria y nutricional, y culturas de consumo con enfoque regional, de género y biocultural.
	Promover esquemas para la diversificación de las dietas con enfoque regional, de género y biocultural, a través de procesos de I+D+i en huertas familiares y escolares y en agricultura urbana y periurbana.
	Fortalecer sistemas productivos locales que rescaten los saberes ancestrales en torno a la alimentación, para mejorar el consumo de alimentos y la nutrición entre los pequeños productores, a través del aprovechamiento de productos autóctonos y agricultura familiar.

(Continúa)

Consumo	Promover el empleo de la bioprospección enfocada en nutrición y fomento del manejo sostenible de alimentos no cultivados de alto valor nutricional (productos forestales no maderables); asimismo, optimizar el uso de subproductos alimenticios (semillas, pulpas, cascara, etc.)
	Monitoreo, evaluación y seguimiento de las estrategias para combatir la deficiencia de nutrientes, basadas en la diversificación de la alimentación o consumo de alimentos biofortificados.
	Impulsar hábitos alimentarios y estilos de vida saludables, que contribuyan a reducir la morbilidad y la mortalidad asociadas a hábitos alimentarios inadecuados, y que protejan la salud de la población colombiana.
	Evaluar y reducir el impacto negativo sobre la seguridad alimentaria y nutricional en relación con los conflictos en el uso del suelo.
	Generar procesos de investigación, transferencia y adopción de tecnologías con un enfoque de nueva ruralidad.
Temáticas transversales	Articular y robustecer los sistemas de información agrícola y pecuaria a nivel nacional y local, que proporcionen insumos para la gestión y toma de decisiones en seguridad alimentaria y nutricional.
	Evaluación sistemática de la efectividad del diseño institucional para garantizar la producción sostenible, disponibilidad y calidad alimentaria y nutricional.
	Alternativas de solución a los problemas de generación de valor de los encadenamientos productivos, que optimicen la distribución y comercialización de los productos agropecuarios y agroindustriales con calidad e inocuidad.
	Armonizar y estandarizar los programas de gestión del riesgo, tendientes a disminuir la vulnerabilidad en la producción agropecuaria ante escenarios de variabilidad y cambio climático.
	Construcción colectiva e intersectorial de política pública de agrobiodiversidad.

Fuente: Elaboración propia

Directrices en agroenergías

Eje temático 1: materias primas (tabla A.4).

Tabla A.4. Estrategias para la megatendencia en agroenergías – materias primas

Número	Estrategias	Prioridad temporal	Orden de prioridad
1	Planificación regionalizada de la matriz energética, a partir de la diversificación de alternativas de materias primas y promoción para su uso.	Corto y mediano plazo.	1
2	Conservar la biodiversidad ligada al desarrollo de materias primas para la generación de biocombustibles, a través de la investigación, transferencia e implementación de buenas prácticas tendientes a la sostenibilidad ambiental (rondas hídricas, cuerpos de agua, relitos de bosques, corredores ecológicos).	Corto plazo.	2
3	Focalizar la investigación en la generación de variedades vegetales especializadas para la producción de biocombustibles, de acuerdo con la demanda del mercado y la oferta ambiental.	Mediano plazo.	2
4	Priorización de materias primas con potencial en el país bajo criterios de disponibilidad, concentración de la producción, calidad y rentabilidad, a partir del potencial energético validado de las materias primas.	Mediano plazo.	1
5	Identificación y selección de modelos productivos integrados para la producción sostenible de biomasa-bioenergía y los mecanismos para mejorar su productividad en zonas no interconectadas del país.	Mediano y largo plazo.	2
6	Expansión de la frontera e intensificación de producción de materias primas para la producción de biocombustibles, con medidas de ordenamiento territorial y uso eficiente del suelo, que contemplen a todos los actores sociales, criterios de sostenibilidad ambiental y seguridad alimentaria; esto de acuerdo con la demanda real y las alternativas de producción energéticas del país.	Mediano.	3

Fuente: Elaboración propia

Eje temático 2: productos (tabla A.5).

Tabla A.5. Estrategias para la megatendencia en agroenergías – productos

Número	Estrategias	Prioridad temporal	Orden de prioridad
1	Desarrollar, transferir o adaptar tecnologías para la diversificación en la producción de biocombustibles, evaluando el mercado y la viabilidad técnico-financiera.	3-5 años.	4
2	Enfoque de investigación en biocombustibles avanzados a partir del mercado; productos con potencial, viabilidad técnica y económica, materias primas disponibles y opciones tecnológicas.	1-3 años.	2
3	Orientar el diseño de biorrefinerías a nivel planta piloto para biocombustibles de segunda y tercera generación, y llevando a cabo una revisión del estado actual de las industrias.	3 años.	5
4	Implementar estudios de megatendencias en consumo de productos derivados del sector.	1 año.	1
5	Orientar en la investigación de productos agroindustriales, con el fin de analizar el uso de todos los subproductos derivados; esto unido a la identificación de oportunidades en el mercado.	1-3 años.	3

Eje temático 3: procesos de transformación (tabla A.6).

Tabla A.6. Estrategias para la megatendencia en agroenergías – materias primas

Número	Estrategias	Prioridad temporal	Orden de prioridad
1	Desarrollar estudios de oferta y demanda territorial (local, regional y nacional) de insumos, servicios y capacidad instalada (infraestructura, recursos humanos, vocación cultural, etc.), para los procesos de cambio en la obtención de biocombustibles y bioenergías.	Corto y mediano plazo.	1

(Continúa)

Número	Estrategias	Prioridad temporal	Orden de prioridad
2	Definición de un programa de I+D+i orientado a reducir los costos de producción de los biocombustibles, a través de mecanismos de eficiencia de procesos a lo largo de la cadena de valor.	Mediano plazo.	2
3	Establecer programas de I+D+i a mediano plazo en procesos para obtención de bioenergías potenciales a partir de tecnologías enfocadas en: • Procesos de desarrollo de biocombustibles líquidos, a través de procesos bioquímicos, termoquímicos, fisicoquímicos y procesos de síntesis Fischer-Tropsch. • Pretratamientos y fraccionamientos físicos, químicos y biológicos para descomponer la estructura lignocelulósicos de materias primas para biocombustibles de segunda generación. • Evaluación de la factibilidad de coprocesamiento de materias primas de biocombustibles, con combustibles fósiles en refinerías de petróleo, para integrarlos a procesos como el de hidrotratamiento.	Mediano y largo plazo.	2
4	Fomentar estudios de investigación de frontera en: • Integración de procesos y conversión química de azúcares y derivados de hidrocarburos. • Evaluación y optimización de procesos químicos para la obtención de biocombustibles avanzados y productos de mayor valor agregado. • Biocombustibles de tercera generación y biorefinerías.	Largo plazo.	2

(Continúa)

(Continuación tabla A.6)

Número	Estrategias	Prioridad temporal	Orden de prioridad
5	Desarrollar investigaciones en eficiencia energética y costos ambientales en la producción de biocombustibles aplicadas al desarrollo de nuevos procesos de transformación y procesos existentes.	Mediano plazo.	3
6	Desarrollo de mecanismos de transferencia de conocimiento y financiamiento para la producción de biocombustibles en plantas de dimensión reducida, accesibles a productores agropecuarios y otras empresas pymes. Esto como alternativa para generar actividad económica y empleo incluyentes en el país (proyectos de última milla).	Mediano y largo plazo.	3

Fuente: Elaboración propia

Eje temático 4: transversales (tabla A.7).

Tabla A.7. Estrategias para la megatendencia en agroenergías – transversales

Número	Estrategias	Prioridad temporal	Orden de prioridad
1	Fortalecer capacidades institucionales a nivel nacional para incorporar la gestión de agroenergías dentro de la política nacional energética (el concepto de <i>agroenergías</i> se debe entender como las formas de energía provenientes de la producción agropecuaria sin circunscribirse solo a biocombustibles).	Corto y mediano plazo.	1
2	Actualizar el Conpes 3510/2008, teniendo en cuenta la demanda del mercado y su viabilidad comercial y financiera, dentro del contexto económico y social del país, y de esta manera fomentar las agroenergías.	Corto y mediano plazo.	2

(Continúa)

(Continuación tabla A.7)

Número	Estrategias	Prioridad temporal	Orden de prioridad
3	Desarrollar un sistema de transferencia tecnológica para el sector de los biocombustibles y otras agroenergías, tomando en consideración conceptos de mejores tecnologías disponibles (Best Available Technologies [BAT]) y de mejores prácticas ambientales (Best Environmental Practices [BEP]).	Mediano plazo.	4
4	Crear un fondo de capital para apoyo a la investigación, validación y adaptación en biocombustibles y otras agroenergías, así como consolidación de centros, grupos y redes de investigación y formación de recurso humano a todo nivel.	Corto y mediano plazo.	3
5	Implementar instrumentos de política que fomenten el desarrollo y uso de las agroenergías diferentes a los biocombustibles y armonizarlos con instrumentos de política relacionados (Política Nacional de SAN, Política Nacional de Ordenamiento Territorial y Uso del Suelo, Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible, Política Nacional Energética, Política Nacional Ambiental, Política Nacional Agrícola) y sectoriales de planificación.	Mediano plazo.	2
6	Garantizar el desempeño sostenible en la producción de agroenergías mediante la incorporación de adecuadas variables ambientales, sociales y económicas.	Mediano y largo plazo.	4
7	Desarrollar investigaciones acerca del impacto social, ambiental y económico de la cadena de biocombustibles y otras agroenergías.	Mediano y largo plazo.	4
8	Incrementar el porcentaje de participación de los biocombustibles y otras agroenergías, en la matriz energética nacional, en relación con el promedio de la región.	Largo plazo.	5

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2.

Instrumentos de construcción colectiva

Taller de validación y fortalecimiento de estrategias en ciencia, tecnología e innovación para la megatendencia en _____ para el sector agroindustrial

Como parte de la construcción social de instrumentos de política pública que direccionen la articulación de actores, la definición de necesidades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación (I+D+i), la asignación de recursos, los mecanismos de gobernanza, los factores de propiedad intelectual, el fortalecimiento del recurso humano e infraestructura y la conformación de planes estratégicos basados en la gestión del conocimiento, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en coordinación con Colciencias y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), orientan la formulación del Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación para el sector Agropecuario Colombiano (Pectia) a través de una metodología unificada que sirve como marco estratégico de ciencia, tecnología e innovación (CTi) del sector agroindustrial colombiano, orientador del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología Agroindustrial (SNCTA).

El objetivo del presente instrumento es validar y acotar las estrategias en ciencia, tecnología e innovación en la megatendencia de _____, que permitirán fortalecer el plan estratégico del sector en el corto, mediano y largo plazo, a partir de la percepción que tienen los actores sobre la importancia de cada una, frente a los objetivos estratégicos del Pectia, los factores habilitantes (directos e indirectos) y la urgencia en su implementación (priorización).

Identificación de actores

[illegible]

Conceptos clave

Objetivos estratégicos del Pectia

- Incrementar la productividad y competitividad de los sistemas productivos agrícolas, pecuarios, forestales, pesqueros y agroindustriales, y de esta manera mejorar su eficiencia técnica, el desarrollo o la introducción de materiales mejorados, y reducir el uso de agrotóxicos, controlando eficientemente plagas y enfermedades, haciendo un mayor y mejor uso de la biodiversidad, manejando de manera sostenible los recursos naturales y la estacionalidad de la producción, y aumentando el valor agregado.
- Contribuir a mejorar la calidad e inocuidad de los alimentos a los que accede la población colombiana, considerando sus características funcionales y nutricionales para asegurar una adecuada alimentación.
- Mejorar los sistemas productivos de manera sostenible, mediante un adecuado manejo de los recursos naturales orientado a la prevención del deterioro ambiental, recuperación de áreas degradadas, conservación y manejo eficiente de la biodiversidad; esto considerando las características agroecológicas y ambientales que pueden concretar una verdadera vocación, con el fin de recuperar, mitigar o evitar la degradación de recursos como agua y suelo, utilizados en la producción.
- Fortalecer el capital social para que la innovación sea el resultado de procesos de gestión de conocimiento en red, a través del desarrollo de capacidades (individuales, institucionales, organizacionales, locales y regionales), orientadas a promover un mayor relacionamiento de los actores, con el fin de promover un cambio fundamental en la manera de generar y transferir conocimiento para la creación, orientación y gestión del conocimiento y el cambio técnico.

Factores habilitantes

En la construcción del Pectia se identificaron factores que promueven el desarrollo de actividades de CTi, y que conforman las grandes estrategias:

- Gobernanza: institucionalidad y marco regulatorio.
- Gestión de conocimiento y asistencia técnica.
- Financiamiento.
- Propiedad intelectual y acceso a recursos genéticos.
- Planeación, seguimiento y evaluación.

Factores transversales

En la construcción del Pectia se identificaron factores que complementan de manera transversal el desarrollo de actividades de CTi, y que conforman las mayores estrategias.

- Fortalecimiento de capacidades: recurso humano e infraestructura.
- Sostenibilidad ambiental, variabilidad y cambio climático.

Validación de lineamientos estratégicos y construcción de estrategias

La labor de construcción de estrategias se realiza en mesas de trabajo interinstitucionales. Se presentan los lineamientos estratégicos de base (adicionalmente, se pueden proponer otros lineamientos), identificados a partir de la información del diagnóstico como insumo para la construcción de estrategias, junto con elementos de soporte desde su conocimiento y experiencia, así como el contexto de la temática presentado. Se debe verificar si el lineamiento es pertinente y si abarca los componentes clave de una estrategia, la cual debe responder a uno o varios factores problemáticos identificados en el diagnóstico situacional y su estructura responde a la figura A.1.



Figura A.1. Estructura de una estrategia.

Fuente: Elaboración propia

La estrategia entendida como un proceso de integración social, flexible y coherente con la capacidad organizacional, garantiza la relevancia del contexto en sus necesidades y demandas en su planificación (el "qué" y el "por qué") y la implementación (el "cómo" y el "cuándo") y su impacto (en "cuánto").

Ejemplo

- A: para qué y para quién: gestión de la tenencia de la tierra para pequeños campesinos y productores (necesidad sectorial y usuarios a los que va dirigida).
- B: qué: se necesita información catastral veraz, oportuna y actualizada (qué se requiere-insumos).
- C: cómo: por medio de procesos de gestión de calidad, generación de sistemas de información, plataforma de interoperabilidad (proyectos para alcanzar la meta).
- D: cuánto: de manera complementaria, se deben adicionar elementos cuantitativos en términos de porcentajes, cantidades y números, que den cuenta del impacto que se espera de la estrategia.

Ejemplo

Estrategia: establecer un proceso integrado y sistematizado para la gestión de predios de pequeños productores, a través de un sistema de información geográfico catastral especializado, que garantice cobertura del 70 % de los predios. Los lineamientos validados serán las estrategias definidas para la megatendencia, los cuales deben registrarse y analizarse con respecto a la correspondencia con los objetivos estratégicos: identificar a qué objetivo(s) estratégico(s) del Pectia se enfoca cada una.

Priorización de estrategias

Una vez ajustadas las estrategias, es necesario definir el orden de prioridad para su ejecución. Para esto se define la priorización como un proceso que se desarrolla en consenso con los diferentes actores involucrados, y en el cual se busca participación y representatividad soportadas en un esquema técnico que contemple el alto grado de subjetividad presente: la premisa de que “no es posible en un 100 % complacer a todos”, que está fundamentada en equidad, solidaridad, respeto, excelencia e integridad.

La priorización debe direccionarse a responder: qué se debe hacer primero y qué es lo más importante, teniendo en cuenta la percepción de los actores involucrados. Para esto se propone un esquema de priorización en dos niveles:

- Nivel 1. Prioridad de temporalidad: definir si la estrategia se debe ejecutar en el corto plazo (1 año o menos), mediano plazo (1-5 años) y largo plazo (más de 5 años) en función del horizonte 2016-2016.

- ## Visión de futuro 2016-2026

[illegible]

Terminó de diseñarse
en noviembre de 2018, Bogotá, D. C., Colombia

La dinámica del sector agropecuario en los ámbitos nacional, regional y local se ve influenciada por factores transversales que inciden en el desarrollo de la ciencia, tecnología e innovación, así como en la formulación de políticas públicas robustas que contemplen la interacción de sistemas nacionales de innovación, sistemas regionales de innovación, sistemas sectoriales de innovación y sistemas tecnológicos de innovación. Uno de estos factores son las megatendencias en investigación las cuales juegan un papel clave para orientar las actividades de investigación y desarrollo tecnológico, formación de capacidades para la innovación y extensión agropecuaria.

Este libro comprende cinco megatendencias clave para el sector agropecuario: (1) Biotecnología y biodiversidad; (2) Agroenergías; (3) Sostenibilidad ambiental, cambio y variabilidad climática; (4) Seguridad alimentaria y (5) Tecnologías de la información y las comunicaciones. Para cada una de las megatendencias mencionadas con antelación se presenta sus perspectivas actuales, tendencias y visiones de futuro. Los resultados de este libro hacen parte del proceso de diseño, construcción y socialización del Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario Colombiano (Pectia).



BAC

BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

CORREO: **bac@agrosavia.co**

TELÉFONO: **(57 1) 422 73 00 EXT. 1257 o 1274**

SKYPE: **[biblioteca.agropecuaria](https://www.skype.com/join/biblioteca.agropecuaria)**

www.agrosavia.co

Distribución gratuita
Prohibida su venta



**El campo
es de todos**

Minagricultura