

Oportunidades de la bioeconomía para la recuperación pospandemia de COVID-19

Un análisis basado en las
recomendaciones de la
Misión Internacional de
Sabios Colombia 2019

Rafael H. Aramendis
Adrián G. Rodríguez

Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



Si desea recibir información oportuna sobre nuestros productos editoriales y actividades, le invitamos a registrarse. Podrá definir sus áreas de interés y acceder a nuestros productos en otros formatos.

 www.cepal.org/es/publications

 www.cepal.org/apps

SERIE

RECURSOS NATURALES Y DESARROLLO

206

Oportunidades de la bioeconomía para la recuperación pospandemia de COVID-19

Un análisis basado en las recomendaciones
de la Misión Internacional
de Sabios Colombia 2019

Rafael H. Aramendis
Adrián G. Rodríguez



COVID-19
RESPUESTA

Este documento fue preparado a partir de informes de consultoría elaborados por Rafael Aramendis, Consultor de la Unidad de Desarrollo Agrícola y Biodiversidad de la División de Recursos Naturales de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en el marco de las actividades del programa ordinario de cooperación técnica de la CEPAL. La supervisión de los estudios y la articulación y revisión del documento estuvieron a cargo de Adrián Rodríguez, Jefe de la mencionada Unidad de la División de Recursos Naturales de la CEPAL.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de las organizaciones.

Publicación de las Naciones Unidas
ISSN: 2664-4541 (versión electrónica)
ISSN: 2664-4525 (versión impresa)
LC/TS.2021/103
Distribución: L
Copyright © Naciones Unidas, 2021
Todos los derechos reservados
Impreso en Naciones Unidas, Santiago
S.21-00421

Esta publicación debe citarse como: R. H. Aramendis y A. G. Rodríguez, "Oportunidades de la bioeconomía para la recuperación pospandemia de COVID-19: un análisis basado en las recomendaciones de la Misión Internacional de Sabios Colombia 2019", *serie Recursos Naturales y Desarrollo*, N° 206 (LC/TS.2021/103), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2021.

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Documentos y Publicaciones, publicaciones.cepal@un.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

Índice

Resumen.....	7
Introducción.....	9
I. La Misión Internacional de Sabios Colombia 2019.....	11
A. Antecedentes.....	11
B. Propuestas y metas de La Misión	11
1. Propuestas transversales	11
2. Misiones emblemáticas y programas relacionados con la bioeconomía	12
3. Metas relacionadas con la bioeconomía.....	13
C. Identificación de proyectos país	14
1. Criterios de selección.....	14
2. Proyectos seleccionados.....	15
D. Marcos de política relevantes	16
1. Plan nacional de desarrollo “Pacto por Colombia Pacto por la Equidad” 2018-2022.....	16
2. Política nacional de ciencia y tecnología	16
3. Programa de transformación productiva	17
4. Política nacional de desarrollo productivo 2016 -2025	17
5. Estrategia para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible	18
6. Política de crecimiento verde 2018 - 2030.....	18
7. Política nacional de producción y consumo sostenible	18
8. Estrategia nacional de economía circular.....	19
9. Política integral para los residuos sólidos	20
II. Agricultura digital	21
A. Visión estratégica.....	21
B. Marcos de política relevantes para el sector agropecuario.....	22
1. Plan nacional de desarrollo 2018-2022.....	22
2. Política nacional de ciencia y tecnología 2021-2030.....	22

3.	El programa de transformación productiva de Colombia	23
C.	Las tecnologías AgTec en la agricultura.....	23
1.	El concepto de agricultura 4.0.....	23
2.	Ejemplos de tipos de agricultura dentro del paradigma de la agricultura 4.0.....	24
D.	Las tecnologías AgTec en Colombia	25
1.	Antecedentes	25
2.	La agricultura de precisión.....	26
3.	Barreras y limitantes de la agricultura de precisión y la agricultura digital en Colombia	29
E.	Viabilidad de un proyecto país de agricultura 4.0 en Colombia	31
1.	Factores habilitantes	31
2.	Impactos.....	32
III.	Bioeconomía azul.....	33
A.	Visión estratégica.....	33
B.	Antecedentes.....	34
C.	Marcos de política relevantes en el ámbito de océanos	35
1.	Reflexiones y propuestas de reformas recomendadas por el foco de océanos y recursos hidrobiológicos de la Misión Internacional de Sabios 2019.....	35
2.	Plan Nacional de Desarrollo 2018 - 2022	35
3.	Colombia Potencia Bioceánica Sostenible 2020 - 2030	36
D.	Los recursos marinos en Colombia	36
1.	Potencial	36
2.	La bioprospección marina	38
3.	Capacidades en educación, ciencia y tecnología en áreas de ciencias marinas	39
E.	Recursos de los océanos y bioeconomía	40
1.	La potencialidad y la conservación de los océanos en el contexto de la bioeconomía.....	40
2.	Utilidad y adición de valor para la biodiversidad marina.....	40
F.	Viabilidad de un proyecto país bioeconomía azul	46
1.	Factores habilitantes	46
2.	Impactos potenciales.....	47
IV.	Biorrefinería de residuos agroindustriales, ganaderos y porcícolas.....	49
A.	Visión estratégica.....	49
B.	Antecedentes.....	50
C.	El concepto de biorrefinería.....	50
1.	¿Qué es una biorrefinería?	50
2.	Clasificación de las biorrefinerías	51
3.	Biorrefinerías en América Latina.....	52
4.	Factores para el éxito en una biorrefinería	53
D.	El potencial de la biorrefinería de residuos en Colombia.....	53
1.	La oferta y utilización de residuos	53
2.	Sectores potenciales.....	56
E.	Viabilidad de un proyecto país biorrefinería de residuos agroindustriales, ganaderos y porcícolas	57
1.	Factores habilitantes	57
2.	Impacto	59
V.	Biomasa con fines energéticos	61
A.	Visión estratégica.....	61
B.	Antecedentes.....	61

C.	Marco regulatorio de energías renovables no convencionales (2014 -2020).....	62
D.	Redes iberoamericanas de biomasa con fines energéticos	63
1.	Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural -REBIBIR.....	63
2.	Red de optimización de los procesos de extracción de biomasa sólida para uso energético-IBEROMASA	64
3.	Red Mexicana de Bioenergía REMBIO	64
4.	Red Colombiana de Energía de la Biomasa - RedBiocol	64
5.	Plataforma Tecnológica y de Innovación Española Biomasa para la Bioeconomía – BIOPLAT	65
E.	Viabilidad de un proyecto país biomasa con fines energéticos.....	65
1.	Factores habilitantes	65
2.	Impactos potenciales.....	67
VI.	Autonomía farmacéutica	69
A.	Visión estratégica.....	69
B.	Antecedentes.....	70
C.	El concepto de autonomía farmacéutica	70
1.	Antecedentes	70
2.	Autonomía farmacéutica en Colombia	71
D.	Políticas públicas relevantes en el sector farmacéutico y salud	72
1.	Misión Internacional de Sabios Colombia 2019	72
2.	Política farmacéutica nacional	73
3.	Marco regulatorio.....	73
4.	Propuestas para construir un camino nacional hacia la autonomía farmacéutica	75
E.	Industria farmacéutica colombiana	76
1.	Los clústeres en la industria farmacéutica colombiana.....	76
2.	Medicamentos esenciales.....	77
3.	La respuesta de la ciencia, la tecnología y la innovación colombiana a la pandemia de COVID-19	78
F.	Análisis de viabilidad de un proyecto país autonomía farmacéutica.....	78
1.	Factores habilitantes	78
2.	Impactos potenciales.....	80
VII.	Química verde.....	81
A.	Visión estratégica.....	81
B.	Antecedentes.....	81
C.	El concepto de química verde.....	82
1.	Definición y alcance.....	82
2.	Beneficios de la química verde.....	83
D.	La química verde en Colombia.....	84
1.	Caracterización de la industria química.....	84
2.	Visión y metas del sector de químicos para el año 2032	84
3.	Aspectos regulatorios.....	85
4.	Organización gremial	86
5.	Programa de calidad para la cadena de químicos.....	86
E.	Análisis de viabilidad de un proyecto país química verde	87
1.	Factores habilitantes	87
2.	Impactos potenciales.....	89
	Bibliografía.....	91
	Serie Recursos Naturales y Desarrollo: números publicados.....	98

Cuadros

Cuadro 1	Reto Colombia Biodiversa: un modelo de economía sostenible basada en la diversidad natural y cultural, misiones y proyectos.....	12
Cuadro 2	Reto Colombia productiva y sostenible. Misiones y programas.....	13
Cuadro 3	Metas claves para la bioeconomía al año 2030 en Colombia	13
Cuadro 4	Proyectos país propuestos.....	15
Cuadro 5	Pactos transversales y objetivos de desarrollo agropecuario y rural del país	22
Cuadro 6	Programa de Transformación Productiva: sectores priorizados en agroindustria.....	23
Cuadro 7	Cultivos, limitantes, herramientas y usos de agricultura digital disponibles para acelerar un Programa de Agricultura 4.0 en Colombia	30
Cuadro 8	Algunos proyectos de investigación en bioprospección marina adelantados en Colombia 2013-2019.....	39
Cuadro 9	Aplicaciones farmacéuticas	41
Cuadro 10	Aplicaciones cosmeceúticas	42
Cuadro 11	Aplicaciones en el sector agrícola	45
Cuadro 12	Diferentes tipos de biorrefinerías de desechos.....	52
Cuadro 13	Oferta de residuos según el tipo de residuo, 2018.....	54
Cuadro 14	Utilización de los residuos sólidos en toneladas para el 2018	55
Cuadro 15	Listado de productos y subproductos obtenidos de la palma de aceite	56
Cuadro 16	Universidades en Colombia con capacidad para un proyecto de biorrefinerías de residuos agroindustriales	58
Cuadro 17	Marco normativo de las energías renovables no convencionales en Colombia según Ley 1715 de 2014 (2014-2019)	63
Cuadro 18	Universidades en Colombia con capacidad para un proyecto de Biorrefinerías/Bioenergía.....	66
Cuadro 19	Misión Internacional de Sabios Colombia 2019: líneas programáticas y objetivos estratégicos foco ciencias de la vida y de la salud.....	72
Cuadro 20	Misión Internacional de Sabios Colombia 2019: línea programática soberanía para la salud y el bienestar objetivo estratégico y acciones.....	73
Cuadro 21	Áreas y objetivos identificados para la construcción de un modelo de autonomía farmacéutica	76
Cuadro 22	Beneficios de la química verde.....	83
Cuadro 23	Programas activos ofrecidos por las instituciones de educación superior en Colombia	88

Recuadros

Recuadro 1	Sectores prioritarios de política nacional de producción y consumo sostenible.....	19
Recuadro 2	Sectores incluidos en la estrategia nacional de economía circular.....	20
Recuadro 3	Ejemplos de tecnologías digitales aplicadas en la agricultura	24
Recuadro 4	Agricultura de precisión en CENIPALMA	27
Recuadro 5	Productos de alto valor agregado a partir de la diversidad química y biológica de los recursos marinos.....	43
Recuadro 6	Principios en los que se basa la química verde.....	82

Diagramas

Diagrama 1	Estructura del proceso derivado de la Misión de Sabios Colombia 2019.....	10
------------	---	----

Resumen

La bioeconomía tiene un papel preponderante en las recomendaciones de la Misión Internacional de Sabios Colombia 2019, debido al enorme potencial que tiene el país como consecuencia de poseer una enorme biodiversidad, y de las posibilidades que ofrece esa biodiversidad para contribuir a un desarrollo económico sostenible en Colombia. La Misión reconoce que la bioeconomía constituye un marco conceptual y político, y que puede apoyar el desarrollo socioeconómico sostenible de Colombia con enfoque territorial, fomentando la agregación de valor a la extraordinaria biodiversidad del país, aplicando el conocimiento científico para la implementación de los ODS, la conservación de la biodiversidad y el uso sostenible de los ecosistemas, y que tiene potencial para contribuir al incremento de la productividad y la eficiencia de la agricultura, al desarrollo de la bioenergía, a la seguridad nutricional de los colombianos, y a resolver problemas ambientales. El documento presenta propuestas para seis proyectos país concebidos para contribuir a la implementación de las recomendaciones de la Misión en materia de bioeconomía y con repercusiones para la recuperación pospandemia de la COVID-19. Los proyectos se relacionan con: i) *agricultura digital*, que responde a las prioridades establecidas por el Programa de Transformación Productiva y a las recomendaciones de la Misión para mejorar la eficiencia y la gestión ambiental en la agricultura); ii) *bioeconomía azul*, que busca la obtención de bioproductos de origen marino para la salud humana, agrobiotecnología, nutracéutica y cosmética); iii) *biorrefinerías de residuos agrícolas, pecuarios y agroindustriales*, en sectores y sitios específicos de la geografía nacional; iv) *uso de la biomasa con fines energéticos*, en comunidades rurales periféricas; v) *autonomía farmacéutica*, orientado al desarrollo de plataformas tecnológicas enfocadas a las principales causas de morbi-mortalidad en el país; y vi) *química verde*, que busca substituir importaciones y potenciar las exportaciones del sector químico colombiano.

Introducción

En 2019, el actual presidente de la República Iván Duque Márquez (2018-2022) convocó la Misión Internacional de Sabios Colombia 2019, con el objeto de “trazar una hoja de ruta que permita la formulación, coordinación y ejecución de una política de estado para el desarrollo de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación (CTI), que, a partir del conocimiento, promueva la productividad y competitividad del aparato productivo colombiano y el desarrollo de nuestra sociedad”.

El proceso de discusión de la Misión se organizó en focos temáticos, de donde derivaron cuatro propuestas transversales que incluyen recomendaciones para: a) Instituciones del Sistema Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación CTI; b) Financiación; c) El papel de la educación; y d) Misiones y Centros, que incluye tres grandes misiones emblemáticas, cada una de las cuales cubre un conjunto de programas. Dos de las misiones emblemáticas están directamente relacionadas con el desarrollo de la bioeconomía en Colombia. La figura 1 ilustra la relación entre focos temáticos, ejes transversales, retos, misiones estratégicas y programas.

El contenido del presente documento es un resumen de un estudio desarrollado por la CEPAL, con recursos de su programa ordinario de cooperación técnica, que tuvo como objetivo “*Contribuir a la implementación de las recomendaciones de la Misión Internacional de Sabios 2019 en materia de bioeconomía y con repercusiones para la recuperación pospandemia de COVID-19*”. Por su capacidad para una recuperación pospandemia de COVID-19 sostenible y generadora de empleo e ingresos, se priorizan las siguientes misiones emblemáticas y programas:

Misión emblemática: Colombia diversa, bioeconomía y economía creativa: conocimiento, conservación, apropiación y uso sostenible del patrimonio cultural y natural para una economía sostenible:

Programa 4: Implementar una agricultura sostenible y generadora de productos para la industria;

Programa 6: Nueva revolución industrial y manufacturera.

Misión emblemática: Colombia hacia un nuevo modelo productivo, sostenible y competitivo:

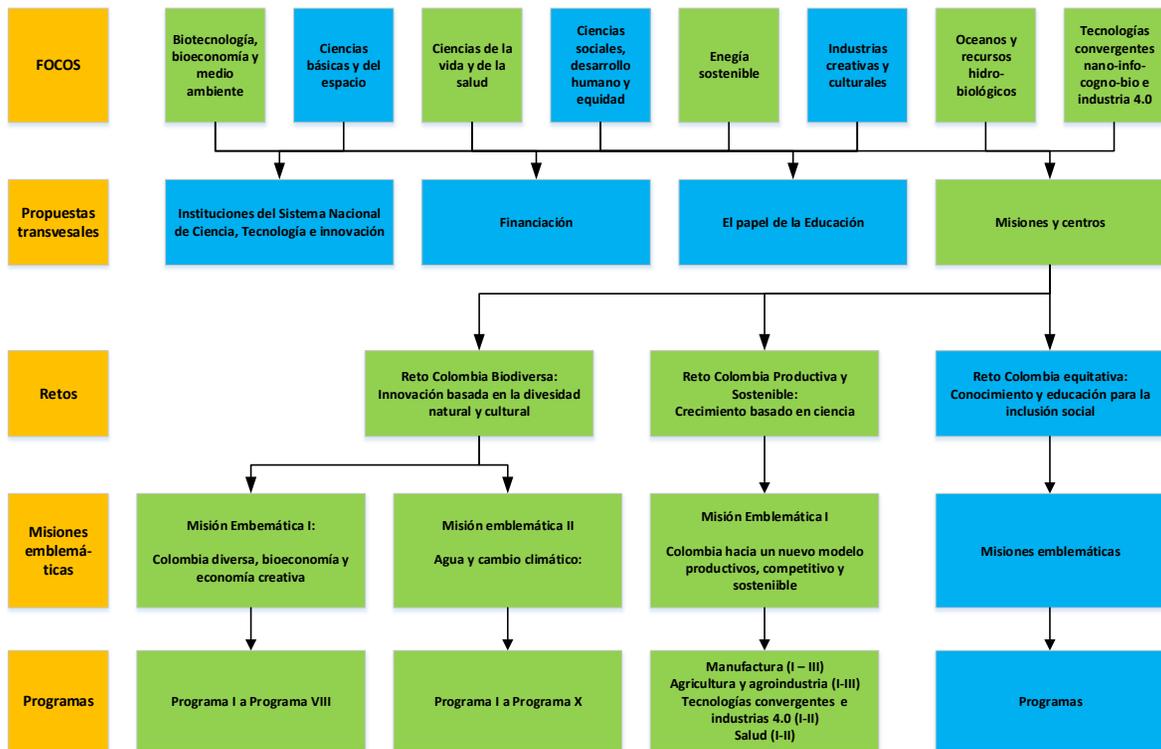
Programa E2: Apoyar la creación de una industria de biorrefinerías con proyección exportadora (incluyendo potenciar el uso de Biomasa sólida y líquida en la matriz energética colombiana).

Programa A1: Incorporar avances en CTI para la modernización tecnológica sostenible del sector agroindustrial.

Programa I3: Desarrollar sectores industriales basados en la química verde a través de la agroindustria y la convergencia de tecnologías.

Programa S1: Financiar y consolidar el desarrollo de capacidades para la producción de medicamentos esenciales para la salud pública.

Diagrama 1
Estructura del proceso derivado de la Misión de Sabios Colombia 2019



Fuente: Elaboración propia.

El documento se organiza en siete capítulos. El primero describe el contexto político e institucional de la MIS Colombia 2019, así como el marco de políticas relevantes para la implementación de sus recomendaciones. Los capítulos restantes presentan las propuestas de los seis proyectos país, concebidos para contribuir a la implementación de recomendaciones de la misión en los retos de Colombia Biodiversa y Colombia Productiva y Sostenible.

I. La Misión Internacional de Sabios Colombia 2019

A. Antecedentes

En 2019, el presidente de la República, Iván Duque Márquez (2018-2022), convocó la Misión Internacional de Sabios Colombia 2019 (en lo que sigue, La Misión), con el objetivo de *“trazar una hoja de ruta que permita la formulación, coordinación y ejecución de una política de estado para el desarrollo de la CTI, que, a partir del conocimiento, promueva la productividad y competitividad del aparato productivo colombiano y el desarrollo de nuestra sociedad”*.

Esta Misión se organizó en 8 focos temáticos: i) Biotecnología, Bioeconomía y Medio Ambiente; ii) Ciencias básicas y del espacio; iii) Ciencias de la Vida y de la Salud; iv) Ciencias Sociales, desarrollo humano y equidad; v) Energía Sostenible; vi) Industrias Creativas y Culturales; vii) Océanos y Recursos Hidrobiológicos; y viii) Tecnologías convergentes nano-info-cogno-bio e industria 4.0. La Misión entregó sus resultados al gobierno nacional el 5 de diciembre de 2019 buscando *“Convertir a Colombia en una sociedad donde el conocimiento sea mejor valorado y se convierta en la base de un desarrollo humano sostenible y con equidad”*.

B. Propuestas y metas de La Misión

1. Propuestas transversales

La Misión entregó 4 propuestas transversales para todos los focos de trabajo y propuestas individuales en cada uno de los focos temáticos. Las propuestas transversales incluyen recomendaciones para: a) instituciones del Sistema Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación (CTI); b) financiación; c) el papel de la educación; y d) misiones y centros.

La propuesta transversal de misiones y centros contempla tres grandes retos para el país acompañándolos de misiones emblemáticas y de una serie de proyectos a ser validados y estructurados por el naciente Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (diciembre 2019).

2. Misiones emblemáticas y programas relacionados con la bioeconomía

El foco Biotecnología Bioeconomía y Medio Ambiente considera a la bioeconomía como “la producción, utilización y conservación de recursos biológicos, incluyendo los conocimientos, la ciencia, la tecnología y la innovación relacionados, para proporcionar información, productos, procesos y servicios en todos los sectores económicos, con el propósito de avanzar hacia una economía sostenible” (GBS, 2018) y manifiesta que en el país ésta debe ser considerada como la política clave para el cumplimiento de la Agenda 2030 y de sus Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Para La Misión este enfoque “engloba el medio ambiente y las soluciones basadas en la naturaleza, y a la biotecnología (uso de organismos, procesos o sistemas biológicos para la obtención de bienes y servicios” y permite mantener la diversidad la salud y los servicios de los ecosistemas y de soporte a la vida al tiempo que garantiza su sostenibilidad) como su principal herramienta.

Los retos Colombia Biodiversa (un modelo de economía sostenible basada en la diversidad natural y cultural) y Colombia Productiva y Sostenible incluyen misiones emblemáticas y programas relacionados con la bioeconomía. El reto Colombia biodiversa, incluye 2 misiones emblemáticas, cuyos programas se detallan en el cuadro 1. Por su parte, el reto Colombia Productiva y Sostenible cuenta con una misión emblemática, cuyos programas se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 1
Reto Colombia Biodiversa: un modelo de economía sostenible basada en la diversidad natural y cultural, misiones y proyectos

Reto: Colombia Biodiversa: un modelo de economía sostenible basada en la diversidad natural y cultural
Misión Emblemática I. Colombia diversa, bioeconomía y economía creativa: conocimiento, conservación, apropiación y uso sostenible del patrimonio cultural y natural para una economía sostenible
Programa I. Colombia Bio 2.0 y Colombia cultural
Programa II. Repositorio de Patrimonio cultural y Nacional
Programa III. Programa de Investigación para la conservación de la Biodiversidad.
Programa IV. Agricultura Sostenible y Generadora de productos para la industria
Programa V. Pesca y acuicultura responsable.
Programa VI. Nueva revolución industrial y manufacturera
Programa VII. Formación y retención del talento humano para el modelo de Bioeconomía
Programa VIII. Generación de contenidos a partir del patrimonio cultural.
Misión Emblemática II. Agua y cambio climático: conservación y uso sostenible del agua, minimización de los riesgos y maximización de la resiliencia de la biodiversidad, los ecosistemas y la sociedad frente al cambio climático.
Programa I. Gestión Integral del agua en Colombia
Programa II. Garantía de Flujo Hídrico
Programa III. Conectividad, mantenimiento y mejoramiento de sistemas hidráulicos.
Programa IV. Calidad y cobertura del recurso hídrico
Programa V. Garantizar resiliencia de los ecosistemas acuáticos y la Biodiversidad
Programa VI. Amenazas y riesgos a los recursos acuáticos
Programa VII. Desarrollo económico y competitividad. Calidad de vida de las comunidades.
Programa VIII. Programa Nacional sobre eventos hidrometeorológicos extremos
Programa IX. Impactos del Cambio Climático y del Cambio Ambiental Global (CAG)
Programa X. Actualización de programas de administración y mitigación al cambio climático

Fuente: Misión Internacional de Sabios (2019).

Cuadro 2
Reto Colombia productiva y sostenible. Misiones y programas

Misión Emblemática I. Colombia hacia un nuevo modelo productivo sostenible y competitivo
Manufactura:
Programa I. Industria de Instrumentación y control para transición energética.
Programa II. Biorrefinerías
Programa III. Ciudades Inteligentes y Sostenibles.
Agricultura y agroindustria:
Programa I. Incorporar avances de CTI para la modernización tecnológica sostenible del sector agroindustrial
Programa II. Fortalecer infraestructura científica y técnica de las regiones en I+D+I
Programa III. Contribución con la desaceleración e incluso reversión de los efectos negativos del cambio climático.
Tecnologías convergentes e Industrias 4.0:
Programa I. Fortalecer la articulación de la información y el manejo de datos en el país.
Programa II. Desarrollo de sectores industriales basados en Química Verde a través de agroindustrias y la convergencia de tecnologías
Salud:
Programa I. Desarrollo de capacidades para producir medicamentos esenciales para la salud pública
Programa II. Reformar el Fondo de Investigación en salud FIS.

Fuente: Misión Internacional de Sabios (2019).

3. Metas relacionadas con la bioeconomía

La Misión establece metas generales y específicas, así como herramientas particulares que posibilitan el alcanzar dichas metas (p. ej. convocatorias, repositorios, bancos, inventarios, registros, conformación de redes, etc). El cuadro 3 resume algunas metas planteadas relevantes para la bioeconomía

Cuadro 3
Metas claves para la bioeconomía al año 2030 en Colombia

Metas Globales	Valores	Año
PIB	10% del PIB proviene de Bioeconomía	2030
Exportaciones	Duplicar las exportaciones (junto con economía creativa).	2030
Empleo	Crear 10.000 nuevos puestos de trabajo	2030
Cambio Climático	Disminuir al 50% del valor actual riesgos asociados a cambio climático.	2030-2050
	Actualización de los planes de adaptación y mitigación al cambio climático y al cambio ambiental global	2030
Vertimientos y disposición de residuos sólidos y líquidos	Reducción al 80%	2022
PIB sectorial	Duplicar participación en la industria manufacturera hasta llegar al 24%	2030
	Duplicar la participación de la agricultura en el PIB hasta el 13.4%	2030
Energía	Aumentar del 9% al 15% el uso de biomasa sólida y la líquida en la producción de energía	2030
Creación de empresas	Cinco empresas de base tecnológica para transición energética	2030
	Cinco biorrefinerías	2030
	Triplicar las empresas de terapias avanzadas.	2030
	Desarrollar industrias de instrumentación médica.	2030
Ciudades	Cinco ciudades inteligentes y sostenibles.	2030
Salud (Medicamentos)	Duplicar el número de medicamentos esenciales	2030
	Diez (10) medicamentos fitoterapéuticos o productos biológicos	2030

Fuente: Misión Internacional de Sabios (2019).

C. Identificación de proyectos país

Se presentan a continuación los criterios utilizados para la selección de proyectos país (y la lista de proyectos seleccionados) con potencial para contribuir a la implementación de las recomendaciones de la Misión Internacional de Sabios 2019 en materia de bioeconomía y con repercusiones para la recuperación pospandemia de COVID-19.

1. Criterios de selección

Para la selección de proyectos país que contribuyan a la implementación de las recomendaciones de La Misión se utilizaron los siguientes cinco **criterios generales**:

- i) Alineación con los senderos de la bioeconomía descritos por la misión de sabios, a saber:
 - Aprovechamiento, valorización y conservación sostenible de los recursos de la biodiversidad;
 - Ecointensificación para la agricultura sostenible.
 - Aplicaciones biotecnológicas (productos y procesos).
 - Servicios ecosistémicos.
 - Eficiencia en las cadenas de valor y
 - Biorrefinerías y bioproductos.
- ii) Establecimiento de una meta concreta cuantificable,
- iii) Tiempo concreto definido para lograr la meta,
- iv) Capacidad del proyecto para superar factores habilitantes,
- v) Cumplimiento de criterios de impacto.

Los ítems (i), (ii) y (iii) han sido previamente delineados en las propuestas de la Misión.

Como **factores habilitantes** se proponen cinco criterios:

- i) Capacidad de obtener financiación nacional y/o internacional;
- ii) Recursos humanos capacitados y disponibles para ejecutar el proyecto;
- iii) Gobernanza, institucional en términos de instituciones y políticas gubernamentales nacionales, regionales o locales que permitan y avalen el desarrollo del proyecto;
- iv) Capacidad de involucrar al sector privado;
- v) Alineación con el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022.

Por su parte, los **criterios de impacto** son cuatro:

- i) Alineación Aporte del proyecto a uno o varios de los ODS;
- ii) Capacidad de lograr desarrollo territorial;
- iii) Aporte al proceso de recuperación postpandemia de la COVID-19 en Colombia;
- iv) Grado de convergencia tecnológica.

La **viabilidad** de un proyecto país estará dada por la confluencia entre los factores habilitantes y los criterios de impacto.

2. Proyectos seleccionados

Teniendo en cuenta las anteriores consideraciones se proponen los siguientes proyectos país: a) Agricultura 4.0; b) Autonomía farmacéutica c) Biorrefinería de residuos agrícolas, pecuarios y agroindustriales; d) Biomasa con fines energéticos; e) Química Verde; y f) Economía Azul.

El cuadro 4 muestra áreas temáticas, programas de la misión de sabios involucrados, programa propuesto, sendero de la bioeconomía, meta propuesta por la misión de sabios y horizonte de tiempo.

Cuadro 4
Proyectos país propuestos

Área	Programas Misión de Sabios	Proyecto país propuesto	Sendero de Bioeconomía	Meta Misión de Sabios	Tiempo
Agricultura	Agricultura Sostenible y generadora de productos para la agroindustria Incorporar avances de CTI para la modernización tecnológica sostenible del sector agroindustrial.	Agricultura 4.0	Ecointensificación para la agricultura sostenible	Duplicar la participación de la agricultura en el PIB hasta el 13.4%	2030
Salud	Nueva revolución industrial y manufacturera Desarrollo de capacidades para producir medicamentos esenciales para la salud pública. Desarrollo de sectores industriales basados en la Química Verde a través de la agroindustria y la convergencia de tecnologías.	Autonomía Farmacéutica	Aplicaciones Biotecnológicas (Productos y Procesos)	Duplicar el número de medicamentos esenciales en el país Diez (10) medicamentos fitoterapéuticos o productos biológicos	2030
Industria	Nueva revolución industrial y manufacturera. Desarrollo de sectores industriales basados en la Química Verde a través de la agroindustria y la convergencia de tecnologías	Biorrefinería de residuos agroindustriales	Biorrefinerías y bioproductos	Cinco biorrefinerías	2030
Energía	Agricultura sostenible y generadora de productos para la agroindustria	Biomasa con fines energéticos	Eficiencia en las cadenas de valor Biorrefinerías y bioproductos	Aumentar el % del uso de biomasa sólida y líquida para obtención de Energía del 9% al 15%	2030
Biodiversidad	Programa de Investigación para la conservación de la Biodiversidad	Colombia BIO 4.0 + Química Verde+	Aprovechamiento valoración y conservación sostenible de los recursos de la biodiversidad	Digitalizar 100% de registros biológicos actuales e incrementar accesiones al 50%	2030
	Colombia BIO 2.0 y Colombia cultural	Bioeconomía Azul	Servicios Ecosistémicos	A partir de 2020 convocatorias de bioprospección por sector	2020
	Pesca y acuicultura responsable.			A partir de 2020 convocatorias para transferencia de conocimiento con enfoque biotecnológico	2020
				Mapa completo de zonas intangibles para la investigación del mar profundo	2025

Fuente: Elaboración propia.

D. Marcos de política relevantes

1. Plan nacional de desarrollo “Pacto por Colombia Pacto por la Equidad” 2018-2022

El Plan Nacional de Desarrollo de Colombia “Pacto por Colombia Pacto por la Equidad” 2018 -2022 (PND 2018-2022) es la hoja de ruta del actual gobierno nacional y está construido sobre la base de tres pilares, y un conjunto de pactos transversales y regionales. Los **tres pilares** corresponden a **legalidad, emprendimiento y equidad**, expresados en la ecuación *Legalidad + Emprendimiento = Equidad*.

Los **Pactos transversales** son 13 y corresponden a: i) Sostenibilidad, ii) Descentralización, iii) Transporte y logística, iv) Construcción de paz, v) Equidad para las mujeres, vi) Gestión pública efectiva, vii) Transformación digital de Colombia, viii) Calidad y eficiencia de servicios públicos, ix) Recursos minero-energéticos, x) Ciencia tecnología e innovación, xi) Inclusión de todas las personas con discapacidad, xii) Promoción de nuestra cultura y desarrollo de la economía naranja, y xiii) Equidad de oportunidades.

Los **Pactos regionales** son nueve y corresponden a las diferentes regiones del país: i) Pacífico; ii) Caribe; iii) Sea Flower; iv) Región Central; v) Santanderes; vi) Amazonia; vii) Eje Cafetero y Antioquia; viii) Llanos Orinoquia; y ix) Océanos.

El **Pacto por la Sostenibilidad** plantea la necesidad de adoptar prácticas sostenibles, bajas en carbono y resilientes a los desastres del cambio climático, buscando crear compromiso entre la actividad productiva, la sostenibilidad, la reducción de impactos ambientales y la mitigación del cambio climático. La premisa básica del pacto es “producir conservando y conservar produciendo” para lo que se requiere hacer un uso eficiente del agua, los materiales, la energía y el suelo y el desarrollo de una economía circular, por medio de la innovación y la adopción de nuevas tecnologías que a su vez aumenten la productividad y la competitividad de los sectores.

2. Política nacional de ciencia y tecnología

En septiembre de 2020 empezó el proceso de consulta pública y discusión por parte del Departamento Nacional de Planeación (DNP) y del Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación (Minciencias) un documento Borrador de Política Pública de Ciencia y Tecnología 2021-2030 (CONPES 2020a). Esta propuesta busca convertir a Colombia en uno de los tres países líderes de América Latina en cuanto a la generación, uso y apropiación de conocimiento científico y tecnológico.

El objetivo principal de esta propuesta marco de política se describe como “Incrementar la contribución de la ciencia, la tecnología y la innovación al desarrollo social, económico, ambiental y sostenible del país, con un enfoque incluyente y diferencial”. Para lograr este cometido proponen los siguientes seis ejes estratégicos (objetivos específicos):

- i) Fomentar las vocaciones, la formación y el empleo cualificado en la sociedad colombiana,
- ii) Desarrollar un entorno habilitante para la generación de conocimiento,
- iii) Aumentar el uso del conocimiento en el país,
- iv) Incrementar la valoración y apropiación social del conocimiento,
- v) Mejorar la gobernanza multinivel del Sistema Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación,
- vi) Incrementar el volumen, la eficiencia y la evaluación de la financiación.

La implementación de esta política pública a partir del año 2021 deberá impactar la manera como se genera, usa y aplica el conocimiento en universidades, centros de investigación públicos y privados y empresas. Los temas abordados en el presente documento se relacionan con dos estrategias secundarias del Eje Estratégico “Aumentar el uso del conocimiento en el país”, y sus respectivos planes

de acción: i) aumentar la transferencia de conocimiento al sector productivo; ii) mejorar capacidades y condiciones para innovar y emprender; y iii) mejorar las condiciones para el desarrollo de industrias 4.0

3. Programa de transformación productiva

El programa de transformación productiva (PTP), lanzado en 2008, pretende convertir a Colombia en un país de ingresos medios a 2032 (Ministerio de Industria y Turismo, 2018). El PTP busca producir impulsos desde el gobierno central para que las agendas de competitividad, en conjunto con la iniciativa privada y la académica, desarrollen nuevos sectores y potencialicen otros. Esta política es un complemento necesario al proceso de internacionalización de la economía colombiana, porque busca la modernización y transformación del aparato productivo para lograr que las ganancias potenciales de los Tratados de Libre Comercio se materialicen y tengan impacto en el crecimiento económico y la generación de empleo.

Los sectores priorizados por el PTP con metas a 2032 son: i) agroindustria, ii) manufactura (cosméticos y aseo, farmacéuticos, industrias del movimiento, industrias para la construcción, plásticos y pinturas, química básica y sistemas de moda); iii) servicios (BPO, KPO e ITO, software y TI, turismo de bienestar, turismo de naturaleza).

Complementariamente, la Política nacional de desarrollo productivo (CONPES, 2016b) establece que se debe desarrollar un PTP que propenda por la generación de crecimiento sostenible en la economía y el empleo y que debe buscar desarrollar sectores altamente competitivos y generadores de valor agregado, alcanzando estándares de clase mundial.

4. Política nacional de desarrollo productivo 2016 -2025

Esta política (CONPES, 2016a) se propone como un mecanismo para atacar las causas de la baja productividad y promover aumentos sostenidos en esta que permitan a la economía del país crecer a largo plazo. El objetivo general de la política es: "Desarrollar instrumentos que apunten a resolver fallas de mercado, de gobierno o de articulación a nivel de la unidad productora, de los factores de producción o del entorno competitivo, para aumentar la productividad y la diversificación del aparato productivo colombiano hacia bienes y servicios más sofisticados".

Las causas de la baja productividad que identifica la política se agrupan en tres grupos de factores, a partir de los cuales se definen sus objetivos estratégicos:

- i) Solucionar las fallas de mercado y de gobierno que limitan el desarrollo de los determinantes de la productividad requeridos para que el país mejore sus niveles de productividad, diversificación y sofisticación.
- ii) Definir un procedimiento para la priorización de apuestas productivas, facilitando la transformación y diversificación del aparato productivo colombiano hacia bienes más sofisticados.
- iii) Crear un entorno institucional que promueva la coordinación entre actores y garantice la sostenibilidad de la PDP en el largo plazo.

Su plan de acción se ejecuta a través de 21 líneas de acción, entre las que destacan: transferencia de conocimiento y tecnología, innovación y emprendimiento, capital humano, financiamiento, calidad y comercio exterior, agendas de competitividad, apuestas productivas, política de ciencia y tecnología y gobernanza, entre otras.

5. Estrategia para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible

La estrategia colombiana para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en el país (CONPES, 2018a) tiene los siguientes objetivos estratégicos:

- Definir un esquema de seguimiento y reporte de los avances en la implementación de los ODS en Colombia, a partir de un conjunto de indicadores nacionales que cuenten con una línea de base y su respectiva meta a 2030;
- Definir un plan de fortalecimiento de la producción y el manejo de datos para la medición del desarrollo sostenible, en particular para aquellos objetivos y metas para los cuales no se cuenta con información al momento de la elaboración de la política;
- Establecer las líneas estratégicas para el acompañamiento del Gobierno nacional a los gobiernos locales en la implementación de los ODS en los territorios;
- Desarrollar los lineamientos para la estrategia de interlocución con actores no gubernamentales.

6. Política de crecimiento verde 2018 - 2030

La Política de Crecimiento Verde (CONPES, 2018b) tiene como objetivo impulsar al 2030 el aumento de la productividad y la competitividad económica del país, al tiempo que se asegura el uso sostenible del capital natural y la inclusión social, de manera compatible con el clima. Está basada en cinco ejes pilares estratégicos y un plan de acción. La política está alineada con los ODS, el Acuerdo de París y los lineamientos de crecimiento verde de la Organización para la Cooperación al Desarrollo OCDE.

Sus pilares estratégicos son:

- i) Crear nuevas oportunidades económicas que permitan diversificar la economía a partir de la producción de bienes y servicios basados en el uso sostenible del capital natural;
- ii) Mejorar el uso de los recursos naturales en los sectores económicos de manera que sean más eficientes y productivos y se reduzcan y minimicen los impactos ambientales y sociales generados por el desarrollo de las actividades productivas;
- iii) Promueve la generación y el fortalecimiento del capital humano para afrontar los nuevos retos de conocimiento y experiencia que genera el crecimiento verde;
- iv) Promueve acciones estratégicas en materia de ciencia, tecnología e innovación como herramienta necesaria para avanzar hacia cambios en los sectores productivos y encontrar nuevos procesos, insumos y tecnologías más eficientes que generen valor agregado a la economía nacional;
- v) Asegura coordinación y articulación interinstitucional requeridas para la implementación de la política, así como el fortalecimiento de las capacidades para la generación de información.

7. Política nacional de producción y consumo sostenible

La política nacional de producción y consumo sostenible (Viceministerio de Ambiente, 2011) tiene el objetivo de orientar el cambio de los patrones de producción y consumo de la sociedad colombiana hacia la sostenibilidad ambiental, contribuyendo a la competitividad de las empresas y al bienestar de la población, y está guiada por los siguientes principios: Ética, cumplimiento de normas, transparencia, participación, y colaboración y trabajo conjunto.

Los ejes estratégicos de la política son: i) Infraestructura sostenible; ii) regulación ambiental; iii) compras responsables; iv) capacitación e Investigación; v) cultura y autogestión; y vi) encadenamientos y negocios verdes.

Recuadro 1

Sectores prioritarios de política nacional de producción y consumo sostenible

- **Sector público:** obras de infraestructura, vivienda social, tecnologías, transporte público, generación de energía. Con perspectivas de incidir en avances de sostenibilidad de obras y proyectos de gran impacto; y con potencial que sea considerado como ejemplo en las prácticas de producción y consumo sostenible.
- **Sector de la construcción.** (i) Con perspectivas de incidir a través de su diseño, en el consumo de energía y agua y en el manejo de residuos en el sector doméstico. (ii) Gran escala y crecimiento. (iii) Con perspectivas de utilizar materiales sostenibles y estimular a los proveedores hacia procesos de producción más sostenibles.
- **Sector manufacturero** envases y empaques, alimentos, productos químicos, metalurgia. Con perspectivas de optimizar en sus procesos productivos el uso eficiente de energía, agua y materias primas; potencial para la reducción y el aprovechamiento de los residuos y con potencial de reducir su huella de carbono.
- **Sector agroindustrial** azúcar, flores, banano, biocombustibles. (i) Con alto potencial de exportación, (ii) Sector en crecimiento, sobre todo en relación con los biocombustibles. (iii) Sector intensivo en el uso de recursos y con alto potencial de optimización.
- **Sector turismo.** (i) Sector estratégico dentro las políticas de competitividad nacional. (ii) Con potencial para hacer uso eficiente de energía y agua y manejo adecuado de residuos. (iii) Con potencial para ser ejemplo por el uso racional de los recursos.
- **Sector de alimentos ecológicos.** (i) Con potencial de crecimiento hacia la exportación. (ii) Con potencial de ser considerado como ejemplo para prácticas de producción y consumo sostenible.
- **Sector de productos y servicios provenientes de la biodiversidad.** (i) Con potencial de crecimiento hacia la exportación. (ii) Con potencial de ser considerado como ejemplo para prácticas de producción, consumo y aprovechamiento sostenible.
- **Pymes proveedoras de grandes empresas.** (i) Con potencial de difusión de prácticas entre grupos de empresas. (ii) Con potencial de generación y conservación de empleo (iii) Con potencial para implementar prácticas de producción y consumo sostenible.

Fuente: Viceministerio de Ambiente (2011).

8. Estrategia nacional de economía circular

En noviembre del año 2018 el gobierno de Colombia lanzó la Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC) que tiene como objetivo maximizar el valor agregado de los sistemas industriales y agropecuarios y las ciudades sostenibles en términos económicos, ambientales y sociales, a partir de la circularidad, la innovación tecnológica y la colaboración con nuevos modelos de negocio.

La estrategia prioriza seis líneas de acción: i) Flujo de materiales industriales y productos de consumo masivo; ii) flujo de materiales de embalaje; iii) flujos y utilización de biomasa; iv) fuentes y uso de energía; v) flujos de agua; y vi) flujo de materiales de construcción.

La estrategia va acompañada de la creación de la Plataforma para acelerar la Economía Circular (PACE) y el Sistema de Información de Economía Circular (SIEC). La plataforma reúne a líderes de empresa, gobiernos, organizaciones internacionales y académicos con el fin de acelerar el cambio a la economía circular a través de proyectos, acciones concretas y educación y el Sistema de Información busca reunir a generadores y usuarios de información de la economía circular.

Hasta septiembre del 2020 la ENEC reportaba que, desde el punto de vista institucional y operativo, se había conseguido la gestión de 16 pactos regionales por la economía circular, la realización de 19 talleres en distintas regiones del país y la gestión de 243.000 toneladas de residuos y de 475.157 toneladas de residuos peligrosos y especiales sujetos a gestión posconsumo.

Recuadro 2**Sectores incluidos en la estrategia nacional de economía circular**

- **Sector Porcicultor.** Acuerdo con el Fondo Nacional de Porcicultura para una porcicultura sostenible a través del aprovechamiento de la porcinaza.
- **Sector de Plásticos.** En la gestión sostenible de los plásticos se logró en el año 2019 entregar un 60% menos de bolsas plásticas (433 millones) frente al 1.069 millón, representando una disminución de 636 millones menos de bolsas.
- **Sector de Refrigerantes.** Se logró una estrategia para recuperar, reciclar y regenerar residuos de refrigerantes de sustancia agotadoras de la capa de OZONO (SAO).
- **Sector Agropecuario.** Iniciativa NAMA BIOGAS para la gestión de aprovechamiento integral de residuos del sector agropecuario.
- **Sector de Envases y Empaques.** Expedición de la norma para el aprovechamiento de todos los residuos de envases y empaques de venta nacional e importada, embalajes o envolturas de papel, carbón, plástico, vidrio y metal puestos en el mercado nacional y que el consumidor desecha después de usar.
- **Sector Servicios Públicos.** Acuerdo con ANDESCO para la implementación de estrategias en el sector de los servicios públicos y las comunicaciones.
- **Sector Hidrocarburos.** Se destaca el acuerdo alcanzado entre Ecopetrol y la Asociación Colombiana de Petróleo (ACP) por medio del cual se han reusado recursos hídricos de aguas de producción tratadas con fines agrícolas y pecuarios (1.5 millones de barriles en el año 2019 esperando llegar a una meta de 25 millones al 100% de operación) y se cuenta con un acuerdo para manejar lodos y residuos de aceites (a través del fondo de lubricantes de aceites usados).

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (2019).

9. Política integral para los residuos sólidos

La política para la gestión integral de residuos sólidos en el país (CONPES, 2016b) es liderada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y el DNP, en coordinación con otras instituciones nacionales. Tiene un horizonte de implementación entre los años 2016 y 2030 y su objetivo general es: *“Implementar la gestión integral de residuos sólidos como política nacional de interés social, económico, ambiental y sanitario, para contribuir al fomento de la economía circular, desarrollo sostenible, adaptación y mitigación al cambio climático”*. Sus objetivos específicos son:

- Promover la economía circular a través del diseño de instrumentos en el marco de la gestión integral de residuos sólidos;
- Promover la cultura ciudadana, la educación e innovación en gestión integral de residuos con el fin de prevenir la generación de residuos, promover la reutilización e incrementar los niveles de separación en la fuente y de aprovechamiento;
- Crear un entorno institucional propicio para la coordinación entre actores que promueva la eficiencia en la gestión integral de residuos sólidos;
- Mejorar el reporte, monitoreo, verificación y divulgación de la información sectorial para el seguimiento de la política pública referente a la gestión integral de residuos sólidos.

II. Agricultura digital

A. Visión estratégica

Se propone desarrollar un proyecto país agricultura 4.0 para Colombia que responda a las prioridades establecidas por el Programa de Transformación Productiva (PTP) y que sea concordante con las recomendaciones efectuadas por la Misión Internacional de Sabios 2019.

El Proyecto tendría los siguientes objetivos estratégicos:

- Desarrollar un Programa Piloto de Agricultura Digital (AD) que permita acelerar la introducción de tecnologías de la cuarta revolución industrial en núcleos seleccionados de los cultivos de Palma de Aceite, Caña de Azúcar y Cacao priorizados por el Programa de Transformación Productiva PTP del gobierno de Colombia.
- Desarrollar un Programa piloto de profundización en el uso de herramientas de Agricultura de Precisión (AP) para fortalecer la competitividad de las cadenas agroindustriales de aguacate, mango y piña del Programa de Transformación Productiva PTP.
- Desarrollar un Programa piloto de Agricultura Vertical (AV) con sensores incluidos y tecnologías LED para los cultivos de tomate, especias y hortalizas con menor priorización dentro del Programa de Transformación Productiva PTP.

Se propone contribuir a las siguientes metas de la Misión Internacional de Sabios 2019:

- Duplicar la participación de la agricultura en el Producto Interno Bruto PIB del país pasando de 6.7% (2019) a 13.4% en el 2030.
- Disminuir en un 80% al 2022 la disposición de residuos sólidos y líquidos, incluyendo los agrícolas y agroindustriales.

B. Marcos de política relevantes para el sector agropecuario

1. Plan nacional de desarrollo 2018-2022

El Sector agropecuario está incluido en el PND dentro del gran propósito “*Desarrollar un Campo con Progreso que permita dinamizar el desarrollo y la productividad de la Colombia rural*”. El cuadro 5 se presentan los objetivos específicos vinculados al desarrollo agropecuario y rural del país, en cada uno de los Pactos transversales del PND.

Cuadro 5
Pactos transversales y objetivos de desarrollo agropecuario y rural del país

Pacto Transversal	Objetivo
Pacto por la Construcción de Paz	Fomentar la estabilización territorial integral para promover el desarrollo agropecuario y rural
Pacto por la Ciencia la Tecnología y la Innovación	Desarrollar modelos productivos agropecuarios con oferta tecnológica y mejores técnicas
Pacto por las Regiones	Promover el desarrollo agropecuario acorde a las características regionales.
Pacto por la Equidad de Oportunidades para Grupos Étnicos	Facilitar la oferta institucional agropecuaria (extensión agropecuaria, fomento a proyectos productivos, formalización de la propiedad, entre otros) teniendo en cuenta los derechos territoriales de las comunidades étnicas
Pacto por la Descentralización	Fomentar el desarrollo de las regiones del país teniendo en cuenta las características de los territorios rurales y su relación con los urbanos.
Pacto por la Transformación Digital de Colombia	Crear un modelo sostenible para la competitividad digital en las zonas rurales.
Pacto de Equidad para las Mujeres	Consolidar la participación de la mujer rural en el desarrollo agropecuario.
Pacto por la Sostenibilidad	Armonizar la producción Agropecuaria con la conservación y el uso eficiente de los recursos naturales.
Múltiples Pactos	Promover actividades no agropecuarias como el turismo responsable y sostenible que genere ingresos no agropecuarios a las poblaciones rurales Mejorar las condiciones de habitabilidad para la población rural Promover el acceso y permanencia de Jóvenes a programas técnicos, tecnológicos y profesionales.

Fuente: DNP (2019).

2. Política nacional de ciencia y tecnología 2021-2030

En el documento preliminar de esta política, en el sector agrícola se ponen de manifiesto la baja formación de recursos humanos en el sector agroindustria (4,8% del total de investigadores colombianos, un nivel bajo comparado con países como Argentina (9,6%) o Paraguay (22,3%)) y la concentración del país en exportaciones agropecuarias y minero energéticas que llevan a que la estructura productiva sea poco diversificada y tecnificada.

La propuesta retoma las metas establecidas por la Misión Internacional de Sabios 2019 respecto a la participación de la Agricultura en el PIB (13,4% para 2030) y asigna varias tareas de fortalecimiento institucional que impactarán la actividad agrícola y agropecuaria del país: a) Integrar el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA) con el Sistema Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación (SNCTI), el Sistema Nacional Ambiental (SINA), el Sistema Nacional de Competitividad (SNC) y con el Sistema Educativo y b) modificar el decreto reglamentario y demás normas del Fondo de Inversiones de Capital de Riesgo que administra el Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (FINAGRO) con el fin de diversificar las inversiones apalancadas, facilitar la entrada de inversionistas privados, permitir su participación en fondos de capital privado, y establecer los mecanismos de salida de la participación que tiene el Gobierno en las inversiones realizadas por el fondo.

3. El programa de transformación productiva de Colombia

El programa de transformación productiva (Ministerio de Industria y Turismo, 2018) identifica 9 subsectores agroindustriales (como de prioridad para su desarrollo y potencialización tanto en el mercado nacional como internacional (cuadro 6). Además, se considera la caña de azúcar teniendo en cuenta su alta tecnificación en el país e importancia socioeconómica en el sector agroindustrial y de energía.

Cuadro 6
Programa de transformación productiva: sectores priorizados en agroindustria

Productos	Subproductos
Alimentos Procesados	Elaboración de aceites y grasas de origen vegetal y animal: Aceites Elaboración de productos de panadería: Panadería, galletería y pastelería, Elaboración de otros productos alimenticios n.c.p (no clasificado previamente): snacks
Cacao y sus derivados	La producción de cacao en grano La fabricación de productos derivados del cacao: licor de cacao, manteca de cacao, polvo de cacao, chocolates y confites.
Cafés especiales	Cafés especiales (café tostado y café verde) Derivados de café.
Carne Bovina	Producción primaria (que se desarrolla en los predios o fincas) Frigoríficos (plantas de beneficio que producen carne en canal, deshuesada y subproductos cárnicos)
Palma de Aceite	Industria cárnica (que fabrica embutidos o derivados cárnicos para comercializar y distribuir). Siembra de la palma africana, producción de semillas y extracción del aceite crudo de palma; Transformación del aceite crudo de palma para la industria de alimentos, panadería, concentrados para animales y cosméticos, Biodiesel, utilizado comúnmente en la industria automotriz.
Frutas y sus derivados	Mango, piña, papaya, aguacate
Hortofrutícola	Fresa, ají, cebolla

Fuente Ministerio de Industria y Turismo (2018).

C. Las tecnologías AgTec en la agricultura

1. El concepto de agricultura 4.0

No existe consenso acerca de una definición exacta de la agricultura 4.0 y de sus ámbitos de acción, aunque se reconocen los impactos positivos de ésta sobre el valor y la eficiencia de las cadenas agroalimentarias y sobre el medio ambiente y la salud humana y animal.

Entendida en términos de estrategia, la Agricultura 4.0 puede ser considerada como una estrategia para alcanzar la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas y alimentarios basada en el uso de nuevas tecnologías como inteligencia artificial, Big Data, Sensores, drones y sistemas de posicionamiento global entre otros (www.asgrow.com).

Visto como la aplicación de principios y tecnologías, la Agricultura 4.0 puede ser considerada como el manejo de la variabilidad espacial y temporal asociada con todos los aspectos de la producción agrícola con el fin de mejorar la respuesta de los cultivos y disminuir los impactos al ambiente. Para algunos la agricultura 4.0 es sinónimo de agricultura de precisión y de agricultura inteligente (Smart Agriculture por sus siglas en inglés) (www.euskaditecnología.com).

Para la FAO la Ciber-agricultura es sinónimo de la Agricultura 4.0 y se define como el uso de las tecnologías de la información y la comunicación para el fomento de sistemas alimentarios sostenibles e inclusivos y la integración del comercio. Comprende el diseño, la elaboración y la aplicación de formas innovadoras de usar las TIC en el ámbito rural, centrándose en la agricultura y la alimentación, incluidas

la pesca, la actividad forestal y la ganadería. La aplicación tecnológica, la facilitación, el apoyo mediante normas, el fomento de la capacidad, la educación y la divulgación pertenecen al concepto más amplio de ciber-agricultura. Para la FAO algunas de las tecnologías incluidas en la agricultura 4.0 son el Big Data, la computación en la nube (Cloud Computing por sus siglas en inglés), sensores y comunicación móvil de banda ancha que están allanando el cambio para la Agricultura 5.0, que se basará en la robótica y en la Inteligencia Artificial que en algunos casos podrá permitir operaciones sin personal y sistemas de decisión autónomos (FAO, 2018).

Recuadro 3

Ejemplos de tecnologías digitales aplicadas en la agricultura

- Big Data: maneja grandes volúmenes de datos de diferentes fuentes con el fin de establecer análisis predictivos que permitan tomar decisiones en campo.
- Blockchain: útil para determinar sistemas de trazabilidad en productos agropecuarios y alimenticios a lo largo de diferentes cadenas de valor agrícola.
- Inteligencia artificial: incluye monitores de suelos y cultivos, algoritmos de procesos de información y modelos de aprendizaje.
- Sensores remotos: capturan por vía aérea, satelital o terrestre información a través del tiempo de diferentes cultivos para apoyar el proceso de toma de decisiones.
- Geolocalización: por medio de sensores remotos determinan capas de información variables de una determinada área o terreno (GPS, SIG)
- Robótica: automatiza tareas y procesos del campo y desarrolla y aplica equipos autónomos para ciertas actividades agrícolas.
- Internet de las cosas (IoT): puede recolectar información climática, ambiental o agronómica y la envía a sistemas de procesamiento y análisis de datos (como el Big Data) para apoyar la toma de decisiones en el campo.

Fuente: Elaboración propia.

2. Ejemplos de tipos de agricultura dentro del paradigma de la agricultura 4.0

a) Agricultura de precisión

Según la Asociación Internacional de Agricultura de Precisión (ISPAG por sus siglas en inglés) “la agricultura de precisión es una estrategia de gestión que recopila, procesa y analiza datos temporales, espaciales e individuales y los combina con otra información para respaldar las decisiones de gestión de acuerdo con la variabilidad estimada para mejorar la eficiencia del uso de recursos, la productividad, la calidad, la rentabilidad y la sostenibilidad de la producción agrícola” (<https://www.ispag.org/>).

La agricultura de precisión definida por Climate Corporation está relacionada con la manera como se ejecutan los planes de siembra de la manera más precisa posible. Se refiere a la forma de cosechar y gestionar el suelo (labranza, no labranza, rotación, cover cropping, poly cropping) de manera tal que los equipos especializados sean capaces de proveer datos para que la agricultura digital efectúe el mejor análisis posible de ellos (Young, 2018).

b) Agricultura digital

Según Climate Corporation la agricultura digital es el uso de datos y técnicas computacionales avanzadas para tomar decisiones informadas sobre el manejo de los cultivos y las operaciones agronómicas. Esto comprende toda la información de un ecosistema agrícola (datos de cultivo, datos agrícolas, datos medio ambientales y datos operacionales de logística y de mercado). Young (2018) destaca que la combinación de la agricultura de precisión y la agricultura digital produce mejores rendimientos y eficiencias y habilita la capacidad de producir más con menos de manera sostenible.

c) Agricultura vertical

La agricultura vertical surge como una alternativa para superar problemas que enfrenta la agricultura convencional, relacionados con el crecimiento de la población mundial, la disminución de la proporción de tierra arable, la necesidad de producir más alimentos, los efectos del cambio climático y los escasos recursos hídricos, entre otros. Es también una estrategia agrícola para proveer de alimentos a las personas que viven en las áreas urbanas con los costos más bajos de energía posibles (Augustaki y Xydis, 2020).

La agricultura vertical está basada en la agricultura de ambiente controlado (CEA, por sus siglas en inglés) que permite controlar factores esenciales para el crecimiento de las plantas como la luz, la temperatura, la humedad y los gases con el fin de producir la mayor cantidad posible de alimentos en el menor espacio posible (The European Business Review, 2020.) En este tipo de agricultura se combina e interactúa con las tecnologías de la agricultura digital, sobre todo con las tecnologías de sensores, automatización y robótica; por ejemplo, mediante sensores localizados en los cultivos e instalaciones para determinar la calidad de luz necesaria para los cultivos, las necesidades de humedad, temperatura y pH y manejarlos adecuadamente. Algunas de las labores rutinarias de dichas granjas ya están comenzando a ser automatizadas e incluso en algunas de ellas se usan Robots para ejecutar las tareas cotidianas (Mashable, 2020).

El uso de tales tecnologías permite usar menos agua, disminuir el tiempo de crecimiento de los cultivos y los daños al suelo y permite crecimiento permanente de los cultivos independiente de las variaciones climáticas. Existen las modalidades más conocidas de agricultura vertical se encuentran las *Granjas Root Top* (Root Top Farms), la *producción vertical exterior* (Outdoor Vertical Production), los *muros verdes* (Green Walls), las *granjas interiores* (Indoor Farms), las *granjas verticales de alta tecnología* (Green House High Tech Vertical Farms), los *invernaderos* (Green Houses) las *granjas hidropónicas* (Hydroponic Farms), y las *granjas aeropónicas* (Aeroponic Farms).

D. Las tecnologías AgTec en Colombia

1. Antecedentes

El Gobierno Colombiano ha venido trabajando para desarrollar direccionamientos estratégicos con el fin de facilitar la adopción de las TICs en la agricultura. En éste sentido generó la Agenda Dinámica Nacional de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación Agropecuaria (Agenda I+D+i) como un instrumento de política que integra las demandas sectoriales en catorce áreas temáticas, las cuales pueden ser analizadas de manera directa (cuando la demanda implica un requerimiento TIC) e indirecta (cuando las TIC pueden aportar a la solución de la demanda) frente a las TIC, así como en la relación de estas con los ejes temáticos definidos por el MINTIC, que son:

- Desarrollo e implementación de sistemas de información TI para los procesos de planificación rural agropecuaria, como apoyo de los entes territoriales;
- Desarrollo e implementación de soluciones TI de agricultura de precisión (o específica por sitio);
- Desarrollo e implementación de soluciones TI que contribuyan a la captura y procesamiento de información en campo;
- Desarrollo e implementación de soluciones TI enfocadas en la gestión de información de mercados agrícolas, agroindustriales, pecuarios, avícolas, forestales, acuícolas y pesqueros, como el manejo de insumos, procesos de logística, trazabilidad de productos, e-marketing, e-commerce y e-business;

- Desarrollo e implementación de soluciones TI enfocadas en la gestión de la propiedad de la tierra rural;
- 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;
- Desarrollo e implementación de soluciones TI que fomenten la gestión del conocimiento en el sector agropecuario y mejoren los procesos de asistencia técnica actuales;
- Desarrollo e implementación de soluciones TI relacionadas con big data y cloud computing dirigidas al sector agro; y
- Desarrollo e implementación de soluciones TI para la gestión de información climática en procesos de cultivo (Florez & Uribe, 2018).

Además de producir lineamientos estratégicos, se han ejecutado algunas acciones básicas para implementar y operativizar lo descrito en los lineamientos (basándose en el Censo Nacional Agropecuario 2016 y en el Plan Vive Digital para la Gente (actual)- antiguo Plan Vive Digital 2014-2018, dentro de las que cabe destacar:

- Creación del Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del sector Agropecuario colombiano (2017-2027) (PECTIA) entre Agro Savia y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, que marca el rumbo de las TIC en el sector, con una visión estratégica y orientada a mejorar la toma de decisiones para la construcción de políticas públicas y acceso a información para los productores.
- Fortalecimiento del ecosistema digital agropecuario vinculando a la FAO como un aliado estratégico, a través de la firma de un memorando de entendimiento.
- Cofinanciación de cerca de veinte proyectos para que la industria de TI desarrollará iniciativas en el sector agropecuario.
- Desarrollo de algunos proyectos piloto con pescadores artesanales en Taganga y Buenaventura, para que a través de las TIC mejoraran sus procesos productivos.
- Fortalecimiento de los procesos del laboratorio de suelos, a partir de un ejercicio de analítico de datos e inteligencia artificial, con el fin de reducir los tiempos de los procesos de análisis, entrega de recomendaciones de fertilización (SAC, 2019).

También es destacable la creación de la Plataforma Siembra (www.siembra.gov.co), una herramienta creada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, y administrado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), que ofrece información y conocimiento dirigido a los productores.

2. La agricultura de precisión

Los antecedentes de la investigación en Agricultura de Precisión en Colombia puede situarse hace cerca de una década a mediados del año 2008 cuando la Universidad Nacional de Colombia UN y la Universidad de Cundinamarca UDCA realizaron en el Departamento del Meta (Centro Experimental de Taluma) algunos estudios geoestadísticos para determinar la variabilidad espacial y propiedades químicas de ciertos tipos de suelo de la altillanura con el fin de establecer guías de agricultura específica in situ (Camacho et al, 2008).

La investigación de campo en agricultura de precisión enfocada a cultivos de interés se empezó a desarrollar en los centros de investigación en los cultivos de banano, forestales, cítricos, arroz y maíz.

El Centro de Investigaciones en Banano CENIBANANO –AUGURA) trabajó en el Departamento del Magdalena en el control de Sigatoka negra, correlacionando factores de producción y productividad. En el ámbito forestal se evaluó la variabilidad espacial y la disponibilidad de nutrientes en el suelo en el Departamento del Magdalena y se llevó a cabo la caracterización de índices de sitio, índices de calidad y modelos de crecimiento mediante el empleo de sensores remotos (Romero et al, 2008). Los casos de la palma de aceite y de caña de azúcar se reseñan a continuación.

a) Palma de aceite

En 2011 el Centro Nacional de Investigaciones en Palma de Aceite (CENIPALMA) evaluó la eficiencia de herramientas de agricultura de precisión para el trazado de plantaciones y el manejo de plagas y enfermedades, en el Departamento del Meta (municipio de Cumaral). En este análisis se estableció que los requerimientos futuros para la implementación de este tipo de tecnologías deberían contener tres elementos:

- i) Sistema de captura de datos GPS y estaciones meteorológicas,
- ii) Sistemas de manejo de bases de datos relacionales tipo DMBS y
- iii) Subsistemas para producir y almacenar información (Lizarazo y Alfonso, 2011).

Recuadro 4
Agricultura de precisión en CENIPALMA
<p>Área de manejo de aguas, suelo y nutrición:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Establecimiento de asociaciones entre factores edáficos y el desarrollo de la pudrición de cogollo de la palma de aceite (PC), • Generación y validación de un sistema integrado para el manejo y seguimiento de los programas de manejo nutricional de la palma de aceite con base en niveles críticos y requerimientos del cultivo, • Determinación de requerimientos nutricionales para híbridos O×G en etapas de vivero y desarrollo vegetativo, • Determinación de fuentes de nutrientes óptimas para el incremento del potencial de aceite y productividad, • Establecimiento de asociaciones entre factores edáficos y el desarrollo de la Pudrición de cogollo de la palma de aceite (www.cenipalma.org). <p>Área de geomática se muestran avances en:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo y puesta en servicio del sistema de información GEOPALMA Plantación, diseñado de acuerdo con los requerimientos del cultivo, competitivo y con actualización permanente del sistema. • Validación e implementación de tecnologías para el seguimiento palma a palma con fines de agricultura de manejo por sitio específico, • Determinación de cambios en respuesta espectral de palmas afectadas por Marchitez letal con respecto a palmas sanas y • Actualización permanente de las áreas establecidas con palmas en el territorio nacional. Aproximadamente 550.000 hectáreas de cultivo con catastro. El sistema GEOPALMA cuenta con módulos de catastro, sanidad, producción, polinización asistida, control de labores, maquinaria y captura móvil www.cenipalma.org. <p>Fuente: www.cenipalma.org</p>

La Plataforma Siembra (<http://www.siembra.gov.co>), que permite cruzar la oferta con la demanda en las diferentes cadenas agroalimentarias del país, reporta para la palma de aceite 233 demandas de investigación en aspectos agronómicos, sociales, económicos, regulatorios y de TICs entre otros, 65 proyectos de investigación y cuatro ofertas tecnológicas.

Se reportan tres ofertas tecnológicas relacionadas con desarrollos TIC para el sector de palma de aceite, entre otros cultivos:

- i) Sensor del suelo Veris 3100®, desarrollado por la Universidad del Llano. El sensor Veris 3100 es móvil y mide de manera directa, rápida, fácil y precisa la conductividad eléctrica aparente del suelo (CEa), a través de resistividad eléctrica.
- ii) Sensor proximal del suelo EM38-MK2 desarrollado por la Universidad del Llano. El EM38-MK2 es un sensor móvil que mide de manera proximal, rápida, fácil y precisa la conductividad eléctrica aparente del suelo (CEa), a través de inducción electromagnética. Comprende (i) un instrumento móvil de medición, (ii) un GPS receptor con puerto de comunicación, (iii) un recolector digital de datos, y (iv) una plataforma de transporte.
- iii) Sistema de apoyo a la toma de decisión agroclimáticamente inteligente SE-MAPA, desarrollado por Agrosavia. Herramienta tecnológica que contribuye con conocimiento experto, al aumento de la capacidad local de tomar decisiones encaminadas a mejorar la adaptación de los sistemas de cultivo al cambio y la variabilidad climática.

El análisis de la información muestra que en el camino hacia la agricultura de precisión el cultivo de la palma de aceite en Colombia ha empleado con diversos fines herramientas de: geoestadística, sistemas de información geográfica (SIG), aplicaciones web (MIP-Webb), sistemas expertos (en fase Beta), uso de sensores de suelo, sistemas de soporte a decisiones y geomática para portales como GEOPALMA. Los fines de uso de estas herramientas van desde identificación de propiedades de suelos y clasificación por áreas, evaluación de variaciones del clima, trazado de plantaciones, diseño de campañas fitosanitarias para el control de insectos, entre otras.

A pesar de estos pequeños logros, no parece evidente que se esté considerando la pronta adopción de herramientas de agricultura digital como Big Data, Analítica de Datos, Inteligencia Artificial, Block Chain o Internet de las Cosas (IoT) para ir un paso más allá y complementar y potenciar el trabajo que se ha venido ejecutando. En suma, es necesario que este sector considerado como PRIORITARIO en el Programa de Transformación Productiva del País PTP acelere, profundice y no desaproveche el potencial que todas las herramientas de la cuarta revolución industrial ofrecen para hacer más eficiente, competitiva y sostenible la cadena de valor de la palma de aceite en Colombia.

b) Caña de Azúcar

CENICAÑA cuenta con un portal de información que ofrece varias herramientas, entre las que destacan: a) GEOPORTAL que ofrece consultas a las estaciones que conforman la red meteorológica automatizada (RMA) e información meteorológica en tiempo real y climatológica (registros históricos) sobre variables atmosféricas; b) la herramienta GEO, que facilita el análisis geoespacial de la producción de caña en el valle del río Cauca, a nivel de correlación de suelo y zona agroecológica suministrando mapas temáticos por hacienda; c) la herramienta BALANCE HIDRICO PRIORIZADO V.4.0 facilita el cálculo del balance hídrico en el suelo y la ejecución de la programación de los riegos; la herramienta GRT le entrega al usuario una guía para el manejo agronómico del cultivo con enfoque en agricultura específica por sitio; d) la herramienta CURVAS DE ISOPRODUCTIVIDAD, que da la posibilidad de efectuar análisis comparativo de la productividad de la caña cosechada en la zona geográfica del río Cauca con las variables ingenio, zona agroecológica, variedad empleada y edad de la cosecha entre otros; e) CENIPROF, que simula desempeños operacionales en las plantas de azúcar y cogeneración de energía eléctrica; y f) CENIMOL, un Software de determinación y ajustes de consumos energéticos en el tándem de molienda (www.cenicana.org).

CENICAÑA también realiza investigación sobre agricultura de precisión, orientada a la evaluación técnica y económica de estas tecnologías conjuntamente con ingenios y cultivadores, destacándose el proyecto de la Red GNSS RTK, un conjunto de estaciones de navegación satelital que corrigen en tiempo

real señales espacio temporales del planeta y con las cuales se mejora el geoposicionamiento de los equipos de agricultura de precisión de modo tal que lleguen datos de ubicación o coordenadas sin errores mayores a una pulgada (2.5 cm). Esta red comenzó a operar a finales del 2016 y hoy cuenta con 17 estaciones a lo largo del valle geográfico del valle del río Cauca (desde Viterbo, en Caldas, hasta Santander de Quilichao, en Cauca) (Cenicaña, 2018).

La Plataforma Siembra muestra 70 demandas tecnológicas, 67 proyectos y 17 ofertas tecnológicas que involucran el cultivo de la caña de azúcar. Las demandas tecnológicas involucran en varios casos el uso de agricultura de precisión y de TICs, entre estas pueden citarse:

- Evaluar, fortalecer y desarrollar el sistema de agricultura de precisión en el cultivo de la caña de azúcar como herramienta para la sostenibilidad.
- Conocer los requerimientos nutricionales del cultivo de la caña de azúcar y producir tecnologías de fertilización de mayor precisión y de fácil adopción.
- Disponer de tecnologías de riego de fácil adopción para que la producción agrícola sea sostenible y rentable.
- Optimizar y automatizar la red pluviométrica y evaporimétrica de la agroindustria de la caña de azúcar en el valle del río Cauca.
- Utilizar herramientas geomáticas en la caracterización de variedades de caña de azúcar.

En resumen, en el cultivo de la caña de azúcar también se ha venido avanzado en el uso de algunas herramientas de agricultura de precisión, dentro de las que se destacan: georreferenciación, servidores de mapas, sistemas de información, geomática, geoposicionamiento de equipos (Red GNRSS TK), software para desempeños operacionales. Los fines del uso de las herramientas van desde levantamiento de datos del cultivo, evaluación de condiciones agronómicas y climáticas, análisis de productividad, cálculo de balances hídricos, definición de parámetros operacionales en plantas de caña de azúcar y cogeneración de energía.

3. Barreras y limitantes de la agricultura de precisión y la agricultura digital en Colombia

La principal restricción para la adopción de estas tecnologías es la baja conectividad en las áreas rurales (DNP, 2020). En muchos casos únicamente existe acceso a través de kioscos y cafés internet, o acceso vía comunitaria (Colegios, asociaciones campesinas, etc). Otro factor importante a tener en cuenta es el costo del hardware y del software empleados para estas tecnologías, que no en todas las ocasiones está a la mano de un pequeño o mediano agricultor promedio de la Colombia rural. Otro factor limitante identificado por Rodrigues y Rodriguez (2013) es la resistencia a las nuevas tecnologías de los agricultores, sobre todo de aquellos de mayor edad y de menor nivel educativo.

También debe tenerse en cuenta que la adopción de las tecnologías dependerá del tipo de información que esté disponible para ser usada para beneficio del agricultor y de la voluntad de todos los participantes para innovar sus procesos productivos. Para los países en vías de desarrollo la adopción de las ICTs está mediada tanto por la localización de las áreas rurales como por tres condiciones a) disponibilidad de información sobre inputs y mercados b) disponibilidad de información sobre producción agrícola, y c) participación real de los usuarios en las organizaciones de productores (Rodrigues y Rodriguez, 2013).

Los retos críticos para implementar un Programa de Agricultura 4.0 en Colombia están relacionados básicamente con: a) conectividad que incluye calidad de la conectividad, acceso y disponibilidad de esta en zonas rurales del país; b) desarrollo de habilidades digitales entre gremios, agricultores y técnicos y extensionistas agrícolas; y c) costo accesible del equipamiento digital.

Para avanzar en la reducción de la brecha digital rural el país ha transitado en la última década por tres grandes programas estatales: a) *Compartel*, que buscaba conectar a Internet las escuelas públicas del país, las bibliotecas, alcaldías, casas de cultura, concejos y hospitales; b) *Programa Vive Digital*, cuyo objetivo era dar un gran salto tecnológico mediante la masificación de Internet y el desarrollo del ecosistema digital nacional; y c) *Plan Ejecutando y Conectando*, con que espera conectar un millón de colombianos de 511 municipios del país a Internet sin costo (actualmente está instalando 550 zonas digitales en áreas rurales de 31 municipios (Hoyos, 2020).

El cuadro 7 resume los cultivos, las limitantes y las ventajas potenciales que tendría la implementación de un Programa de Agricultura 4.0 para acelerar y potenciar algunas cadenas de valor en cultivos priorizados por el Programa de Transformación Productiva PTP del gobierno nacional.

Cuadro 7
Cultivos, limitantes, herramientas y usos de agricultura digital disponibles para acelerar un programa de agricultura 4.0 en Colombia

Cultivos Priorizados en el PTP y otros cultivos	Limitantes seleccionadas	Herramientas de Agricultura Digital disponibles y sus usos
Palma de Aceite	Enfermedades: Pudrición del cogollo (PC), marchitez letal (ML), anillo rojo (AR) y marchitez sorpresiva (MS). Plagas: Rhynchophorus palmarum, Strategus aloeus y Sagalassa valida.	Herramientas: Inteligencia Artificial (I.A) + Visión Computarizada+ Algoritmos de Machine Learning (ML) + drones Usos: Detectar y manejar de manera temprana plagas y enfermedades. Producir indicadores de stress de los cultivos. Realizar mediciones cuantitativas de sanidad del cultivo
Cacao	Enfermedades: Moniliasis, Escoba de bruja y Phytopthora Plagas: Chinche amarillo y rojo (Monalonium sp) Hormiga arriera;	Efectuar mediciones cuantitativas de la calidad de los frutos.
Mango	Enfermedades: Antracnosis, malformación del cultivo (Fusarium subglutinans) Plagas: Mosca de la fruta (Diptera: Tephritidae)	
Aguacate	Fuertemente afectado por condiciones climáticas, precipitaciones y heladas.	Herramientas: Plataformas digitales conectadas a tabletas o smartphones (celulares) para lanzar alertas climáticas a los agricultores.
Caña de Azúcar	Fallas de siembra. Detección de malezas. Trazabilidad en "suertes" de caña.	Herramientas: Imágenes hiperespectrales+ satélites + Algoritmos de Machine learning.
Banano	Clasificación de frutos Detección temprana de enfermedades	Herramientas: Imágenes+ Machine Learning+ UAV

Fuente: Elaboración propia.

También es necesario tener en cuenta consideraciones particulares por cultivo que podrían facilitar la implementación de un programa de esta naturaleza en el país. El cultivo de la *palma de aceite* está organizado en cuatro grandes núcleos palmeros (Zona Norte, Zona Central, Zona Oriental y Zona Suroccidental), el gremio cuenta con un Centro de Investigación (CENIPALMA) y está organizado en torno a la Federación Nacional de Cultivadores de palma de aceite (FEDEPALMA). Esa estructura investigativa y gremial podría facilitar la implementación de núcleos de conectividad en torno a los cuatro núcleos palmeros y facilitar los procesos de educación y capacitación en habilidades digitales para los asociados.

El cultivo de la *caña de azúcar* también muestra algunas ventajas al momento de implementar un programa de agricultura 4.0 pues está organizado en torno a tres grandes núcleos geográficos: Risaralda, Valle del Cauca y Cauca; el gremio cuenta con un Centro de Investigación propio CENICAÑA y una asociación gremial la Asociación de cultivadores de Caña de Azúcar en Colombia ASOCAÑA. En este cultivo como en el de Palma los temas de conectividad y de generación de capacidades digitales pueden ser efectivamente enfrentados a través de los núcleos de cultivo, los centros de investigación y el gremio del sector.

El cultivo del cacao también está localizado en seis áreas geográficas definidas: Santander, Antioquia, Arauca, Huila, Tolima y Nariño y su estructura organizativa y gremial se realiza en torno a la Federación Nacional de Cacaoteros.

La información disponible muestra que la palma de aceite y el cacao serían los cultivos más atractivos para implementar un programa piloto de agricultura digital en el país. En orden de importancia seguirían la caña de azúcar y el mango. La caña de azúcar está sembrada en 225.560 has en el país, crece a una tasa anual del 2.7% anual, exportó 748.000 ton en el año 2019 por valor de 322 millones de dólares y cogeneró un 9.4% de energía y cuenta con importantes avances en la adopción de Agricultura de Precisión. En mango existen 26.385 has y se produjeron en el año 2017 260.300 Ton, mostrando una tasa de crecimiento del 2.6% anual.

E. Viabilidad de un proyecto país de agricultura 4.0 en Colombia

1. Factores habilitantes

- **Capacidad para obtener financiación:** Un proyecto país con las características expuestas requerirá recursos nacionales e internacionales, los recursos nacionales pueden provenir de diversas fuentes a saber: fondos públicos como los de los Ministerios de Ciencia Tecnología e Innovación, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones MINTIC; fondos públicos asignados por el Sistema General de Regalías o mediante recursos obtenidos por un proyecto estratégico aprobado por el gobierno nacional con el Departamento Nacional de Planeación DNP a la cabeza; recursos nacionales de banca pública de fomento provenientes de entidades como el Banco Agrario o el Banco de Comercio Exterior Bancoldex y en el sector privado la banca comercial del país y los potenciales gremios interesados en el desarrollo del proyecto (Vrg palmicultores, cañicultores, cacaoteros u otros).
- **Recursos Internacionales** podrían obtenerse de Instituciones multilaterales como el Banco Mundial, el Banco Interamericano de Desarrollo BID, la Corporación Andina de Fomento CAF o de Agencias de Cooperación multilateral como Agencia Alemana para la Cooperación Internacional-GIZ, el Fondo Coreano de Alianza para el Conocimiento en Tecnología e Innovación-KPK y Agencia de Cooperación Internacional de Japón-JICA.
- **Disponibilidad de recursos humanos.** Se trata de un proyecto interdisciplinario en que deberán participar profesionales de múltiples áreas de la ingeniería (Sistemas, electrónica, eléctrica, agronómica), telecomunicaciones, informática, agronomía, ingenieros agrónomos, geoestadísticos, etc. Estos recursos están disponibles en el país y también se cuenta con el Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones – CINTEL que desde 1991 realiza proyectos orientados a apoyar la transformación digital de las empresas públicas y privadas.
- **Gobernanza.** El proyecto podría ser considerado de prioridad estratégica del país y podría ser coordinado por el Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnologías de la Información

y las Comunicaciones – CINTEL en asocio con el Departamento Nacional de Planeación DNP. Debería contar con un equipo directivo integrado por los Ministerios de Agricultura, Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación y Ministerio de Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones y con los potenciales gremios beneficiarios (en principio palmeros, cañicultores y cacaojeros) o de aquellos que puedan interesarse en el desarrollo de la propuesta. Las políticas que apoyan el proyecto son políticas sectoriales (MINTIC, MINCIENCIAS, MINAGRICULTURA Y MINCOMERCIO) y en particular el Programa de Transformación Productiva PTP y la Agenda Dinámica Nacional de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación Agropecuaria.

- **Capacidad de Involucrar al sector privado.** El proyecto, que inicialmente estaría destinado a fortalecer las cadenas de valor de los cultivos priorizados por el Programa de Transformación Productiva PTP (Palma, Caña y Cacao), puede ser avalado y movilizar recursos por parte de la Federación Colombiana de Cultivadores de Palma de Aceite FEDEPALMA, la Federación de Cultivadores de Caña de Azúcar ASOCAÑA y por la Federación Nacional de Cacaoseros.
- **Alineación con el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022.** El proyecto estaría alineado con el Plan Nacional de Desarrollo PND 2018-2022. El Sector agropecuario está específicamente incluido dentro del gran propósito “Desarrollar un Campo con Progreso que permita dinamizar el desarrollo y la productividad de la Colombia rural”. En particular el proyecto se alinearía con al menos los siguientes ocho pactos del PND 2018-2022: paz, ciencia tecnología e innovación, regiones, equidad de oportunidades para grupos étnicos, descentralización, transformación digital, mujeres y sostenibilidad (cuadro 5).

2. Impactos

- **Objetivos de Desarrollo Sostenible.** La realización de este proyecto impactaría de manera directa los ODS 2 Reducción del hambre, ODS 9 Industria, innovación e infraestructura, ODS 10 Reducción de desigualdades, ODS 12 Producción y consumo responsable y ODS 15 Vida de ecosistemas Terrestres.
- **Desarrollo Territorial.** Si el proyecto se desarrolla inicialmente en los cultivos de palma de aceite, caña y cacao puede constituirse en un motor de desarrollo en los cuatro núcleos palmeros identificados del país como son la zona norte, central, oriental y suroccidental, en las tres regiones cañícolas del país (Risaralda, Valle del Cauca y Cauca), y en los cinco departamentos esencialmente cultivadores de cacao (Santander, Antioquia, Arauca, Huila y Tolima).
- **Aporte del Proyecto al Proceso de Recuperación pospandemia de COVID-19.** Dentro de las líneas de gobierno nacional para la reactivación del sector agrícola, se lanzó la plataforma ‘El campo a un clic’, para ayudar a los productores a comercializar sus productos ante la dificultad generada por la pandemia. Además, el Gobierno dentro de las líneas de apoyo financiero para la reactivación del sector, contempla créditos para maquinaria, insumos agrícolas y tecnología.
- **Convergencia tecnológica del proyecto.** Se trata de un proyecto en que concurren las ciencias básicas (biología, química, física), las ciencias del espacio (satélites, sistemas de posicionamiento global, sensores, sistemas de información geográfica, geomática y drones, entre otros), las ciencias aplicadas (ingenierías, geomática, fotónica) y las herramientas de la cuarta revolución industrial (Big Data, Inteligencia Artificial, Internet de las cosas y Machine Learning).

III. Bioeconomía azul

A. Visión estratégica

Desarrollar un proyecto país bioeconomía azul, para contribuir a la implementación de las recomendaciones de la Misión Internacional de Sabios 2019 en los focos de Biotecnología, bioeconomía y medio ambiente, y Océanos y recursos hidrobiológicos.

El proyecto tendría tres objetivos específicos:

- i) Focalizar y priorizar las investigaciones ya existentes de la academia, y potenciarlas con los conocimientos ancestrales de las comunidades asentadas en los territorios, con el fin de obtener en el año 2030 el primer bioproducto de origen marino aplicable a la salud humana (Programa de turismo científico y bioprospección marina en las costas atlántica y pacífica colombiana).
- ii) Vincular las investigaciones ya existentes de la academia y potenciarlas con los conocimientos ancestrales de las comunidades asentadas en los territorios, para obtener en el año 2030 los primeros cuatro primeros bioproductos de origen marino con aplicaciones directas en agrobiotecnología, nutracéutica y cosmética (Programa de turismo científico y bioprospección marina en las costas atlántica y pacífica colombiana).
- iii) Potenciar los resultados de las expediciones Colombia BIO adelantadas en Malpelo I y II, Sea Flower y Serrana/ Serranilla para avanzarlas a sus componentes genómico y metabólico.

Se propone contribuir a las siguientes metas de la Misión Internacional de Sabios 2019:

- Primer bioproducto de origen marino con aplicaciones en salud humana comercializado en el país en el año 2030.
- Cuatro bioproductos de origen marino con aplicaciones en agrobiotecnología, nutracéutica y cosmética comercializados en el país en el año 2030.

- Identificación y caracterización genómica y metabolómica completa al 2025 de las especies marinas identificadas en las expediciones Colombia Bio de Malpelo I y II, Sea Flower y Serrana Serranilla.

El proyecto se relaciona con los desafíos Aprovechamiento de la Biodiversidad para un Desarrollo Sostenible (Biodiversidad Marina), Colombia Inteligente que Conoce y Aprovecha su Biodiversidad (Biodiversidad Marina), Colombia Genómica, y dentro del área estratégica Biodiversidad y Ecosistemas. Se identifican prospectos en turismo de naturaleza y nutracéutica, farmacéutica y cosmética.

B. Antecedentes

Desde hace casi dos décadas Colombia desarrolla investigación sobre productos naturales marinos y costeros provenientes de los ecosistemas del Caribe continental e insular (Archipiélago de San Andrés Providencia y Santa Catalina) y del Pacífico. Estas investigaciones han logrado identificar, aislar, caracterizar, en algunos casos elucidar estructuras químicas simples, y evaluar actividades biológicas antitumorales, antisépticas, antiparasitarias, antituberculosas de utilidad potencial para la salud humana y para la sanidad vegetal (antifúngicos y antivirales).

Para que estas o nuevas investigaciones se continúen desarrollando con eficiencia y éxito productivo es necesario potenciarlas, mediante la adición de valor con conocimiento del tipo genómico, sobre todo de proteómica y metabolómica e integración de las mismas con bioinformática y Big Data, de modo tal que sea posible focalizarlas, acelerarlas y avanzarlas en el camino hacia la real obtención de bioproductos útiles en sectores como agricultura (biocidas), nutrición (nutracéuticos), salud humana (farmacéutico) y cosméticos (cosmecéutica) todos basados en la biodiversidad marina y oceánica del país.

El análisis de 16 proyectos de investigación científica realizada sobre los ecosistemas marinos y costeros del Caribe, Pacífico y región insular del país en el periodo comprendido entre 2013 y 2020 muestra que:

- en el ecosistema del Caribe se desarrollaron cinco proyectos destinados a evaluar la actividad biológica sobre humanos de moléculas o compuestos de origen marino (antitumoral, antituberculosa, antiparasitaria y evaluación de nuevos fármacos de origen marino a cargo de la UdeA), y (antiséptica a cargo de INVEMAR);
- en el ecosistema del Caribe también se ejecutaron o se desarrollan 3 proyectos que evalúan el potencial de organismos marinos como agentes de control de diversos fitopatógenos, fungicidas (arroz) y agentes antivirales en plantas - a cargo de la UNAL-;
- uno solo hace uso de las herramientas de la metabolómica para el análisis de 28 especies de corales blandos y su actividad citotóxica contra líneas de cáncer de cuello uterino, pulmón y próstata;
- varios de los proyectos evalúan los recursos demersales pesqueros o hacen uso de las técnicas de resonancia magnética nuclear (RMN) o espectroscopia de masas (EM) para elucidar compuestos y estructuras.

De 21 expediciones realizadas por el proyecto COLOMBIA BIO a la fecha, solo se han realizado seis a territorios marinos e insulares del país, cinco de ellas al Caribe Insular y una (1) sola de ellas al Pacífico. La expedición SEA Flower 2017 al Cayo Serrana reportó la identificación de 40 especies, la expedición SEA FLOWER 2017 al cayo Serranilla reportó 170 especies de peces, 3 especies de tortugas (verde, carey y cabezona) y la evaluación de algunos servicios ecosistémicos de protección costera; las expediciones Malpelo I y II reportaron el hallazgo de cuatro posibles nuevas especies, nueve endémicas y treinta con criterios de conservación.

En 2003 se reportaba en el país el aislamiento e identificación de al menos 500 compuestos bioactivos de los cuales 47 mostraban una nueva actividad biológica (Duque 2003). De los productos naturales marinos evaluados en el Caribe Colombiano el 36% ha mostrado actividad biológica antibiótica, el 29% contra el cáncer, antiparasitaria 13%, antiinflamatoria 7%, y antioxidante 4% (Bautista, 2017). De los 84 fitoproductos desarrollados en el país a la fecha ninguno proviene de la biodiversidad marina (CONPES 3930 de 2019).

Aunque los resultados de los proyectos de investigación descritos son prometedores y las expediciones Colombia BIO están comenzando a identificar, evaluar, y en algunos casos a caracterizar la inmensa biodiversidad marina y oceánica del país, es necesario innovar en la ejecución de bioprospección marina y oceánica. Esta se ha visto como el paso final de un proceso de investigación y no como el primer paso dentro de un proceso de aprovechamiento sostenible de la biodiversidad, con potencial para el desarrollo territorial.

A este propósito se presenta una propuesta que busca focalizar y acelerar los resultados de las investigaciones, de manera que los proyectos ya ejecutados o que se desarrollan en la actualidad hagan uso de las herramientas de la genómica moderna, en particular, pero no exclusivamente, de la proteómica y la metabolómica, así como de las técnicas de análisis químico como RMN y EM y de la bioinformática y el análisis del tipo Big Data. Ello para elucidar las estructuras químicas y actividades biológicas de los productos identificados y avanzar en el camino para obtener el primer bioproducto de origen marino en el país.

Para ello se requiere involucrar a los territorios, sus dinámicas productivas y sociales y a las comunidades locales que conocen recursos y prácticas ancestrales, para lo cual es necesario repensar la estrategia de turismo de naturaleza- turismo científico de alto nivel- del país de modo tal que esta sea capaz de involucrar a todos los actores e instancias implicadas (academia, sector privado, gremios).

C. Marcos de política relevantes en el ámbito de océanos

1. Reflexiones y propuestas de reformas recomendadas por el foco de océanos y recursos hidrobiológicos de la Misión Internacional de Sabios 2019

El foco de océanos y recursos hidrobiológicos de La Misión Internacional de Sabios 2019 tuvo como objetivo *“aportar para la formulación o modificación de políticas públicas, estructurando estrategias y misiones emblemáticas que propendan por el adecuado conocimiento, ordenación, manejo, control y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales —renovables y no renovables—buscando que el capital natural genere a futuro oportunidades socioeconómicas e investigativas que impulsen su desarrollo en bien de las regiones insertas en estos espacios”* (Misión Internacional de Sabios, 2019).

2. Plan Nacional de Desarrollo 2018 - 2022

Los Océanos y las zonas costeras e insulares se encuentran de manera directa vinculadas tanto a los pactos transversales como a los pactos regionales. Los pactos transversales directamente involucrados son el Pacto por la Sostenibilidad: Producir Conservando y Conservar produciendo y el Pacto por la Ciencia la Tecnología y la Innovación: Un Sistema para construir el conocimiento de la Colombia del Futuro; los pactos regionales ligados son el Pacto Caribe, Pacto Pacífico, el Pacto Sea Flower y el Pacto de los Océanos.

Los pactos regionales directamente involucrados son: i) Pacto Región Caribe: Una transformación para la igualdad de oportunidades y la equidad (Pacto XVIII); ii) Pacto Región Pacífico. Diversidad para la Equidad, la Convivencia Pacífica y el Desarrollo Sostenible (Pacto XVII); iii) Pacto Región Sea Flower. Por una Región Próspera Segura y Sostenible (Pacto XIX); y iv) Pacto Región Océanos. Colombia Potencia Bioceánica (Pacto XXV).

3. Colombia Potencia Bioceánica Sostenible 2020 - 2030

La política *Colombia Potencia Bioceánica Sostenible 2030* (CONPES 3930) pretende proyectar a Colombia como potencia bioceánica mediante el aprovechamiento integral y sostenible de su ubicación estratégica, condiciones oceánicas y recursos naturales para contribuir al crecimiento y desarrollo sostenible del país. Sus objetivos específicos son:

- Ejercer la gobernanza bioceánica para gestionar de manera integral el potencial oceánico del país.
- Incrementar la capacidad del Estado para velar por la soberanía, defensa, y seguridad integral marítima.
- Fomentar el conocimiento, cultura, investigación e innovación de los asuntos oceánicos para contribuir a la apropiación social del país bioceánico.
- Armonizar los instrumentos de ordenamiento para articular el desarrollo territorial y los espacios marinos.
- Impulsar las actividades económicas marítimas y el desarrollo local costero para contribuir al desarrollo productivo y social del país.

En materia de conocimiento, investigación y cultura marítima se le asignan competencias institucionales al Minciencias, al Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) y a la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca AUNAP. Al Minciencias se le asignan las tareas de:

- fortalecer el desarrollo de la investigación en materia de ciencia, tecnología e innovación asociado a los intereses marítimos de la Nación, a través de convocatorias que permitan la presentación de proyectos de investigación en temas relacionados con ciencias del mar;
- impulsar el desarrollo de la investigación en materia de ciencia, tecnología e innovación asociado a los intereses marítimos de la Nación, a través de convocatorias que incluyan líneas relacionadas con el conocimiento, aprovechamiento y bioprospección en ecosistemas marítimos, costeros e insulares, e
- impulsar el avance en los niveles de madurez tecnológica para la generación de bioproductos derivados de ecosistemas marinos.

Por su parte, al SENA se le encomienda ofrecer formación integral dirigida a la población que vive en las zonas costeras del Caribe y del Pacífico; y a la AUNAP contribuir en la actualización del conocimiento científico y técnico del estado de los recursos pesqueros, por medio de la elaboración de documentos de investigación de pesca y acuicultura.

D. Los recursos marinos en Colombia

1. Potencial

Según el Departamento Nacional de Planeación (DNP) Colombia cuenta con un territorio de una extensión aproximada de 2.070.408 km², de los cuales el 55,15 % (1.141.748 km²) corresponde a tierras emergidas, continentales e insulares y el 44,85 % a territorio marítimo (aproximadamente 589.560 km² en el Caribe y 339.100 km² en el Pacífico) (CONPES 2020).

El país posee 4.171 kilómetros de línea de costa (2.582 km en el Caribe y 1.589 km en el Pacífico) extendiéndose esta a lo largo de 12 de los 32 departamentos, (lo que incluye a 46 municipios), de los cuales ocho tienen costas en el Caribe y cuatro en el Pacífico, nuestro país es el único país de América del Sur que tiene acceso tanto al océano atlántico como al pacífico (CONPES 2020).

Colombia cuenta aproximadamente, con 100 islas, 17 cayos, 42 bahías, 5 golfos, áreas coralinas, arrecifes coralinos y manglares que incluyen al Archipiélago de San Andrés, Providencia Santa Catalina, islotes y los cayos de Serrana, Serranilla y Albuquerque. El país cuenta con 37 áreas marinas protegidas (AMP) en los Sistemas Regionales de Áreas Marinas Protegidas (SIRAP) del Pacífico y del Caribe, y se cuenta con la Reserva de Biosfera mundial SEA Flower (CONPES, 2020).

La costa Caribe insular oceánica está conformada por el archipiélago de San Andrés, Providencia, Santa Catalina y sus islotes y cayos asociados; se ubica al noroeste del país. La costa del Pacífico se divide en dos regiones fisiográficamente diferentes: la zona norte, entre Panamá y cabo Corrientes, con aproximadamente 375 km de longitud, constituida por costas acantiladas muy accidentadas, correspondientes a la serranía del Baudó; y hacia el sur de cabo Corrientes, hasta el límite con el Ecuador, en donde la costa es baja, aluvial, con planos inundables cubiertos por manglares, una red de drenaje densa conformada por ríos y esteros y sólo interrumpidos por pequeños tramos de acantilados en bahías de Málaga, Buenaventura y Tumaco (INVEMAR, 2020d; Posada et al., 2011).

Las áreas marinas y costeras poseen una gran biodiversidad que se constituye en un capital natural fundamental, formando uno de los sistemas más productivos que existen en el planeta. Así mismo, esta biodiversidad marina origina diversos tipos de servicios ecosistémicos como son los de soporte (i.e. procesos de producción biológica y flujo de energía), servicios de regulación (i.e. absorción de CO₂ y contaminantes), servicios culturales (i.e. el turismo) y los servicios de aprovisionamiento (i.e. alimento por pesca). Sin embargo, existe mucha evidencia del uso inadecuado de la biodiversidad y sus ecosistemas, amenazando la oferta de estos servicios. A nivel de pesca, algunas investigaciones han documentado en el país sus impactos sobre la biodiversidad, así como efectos en la estructura y funcionamiento del ecosistema (Rueda y otros, 2020).

Respecto a riqueza íctica, marina y estuarina del país, ésta se estima en cerca de 2000 especies de peces, en el Caribe, existen reportes de 1498 especies de moluscos, 239 de equinodermos y 990 de peces, mientras que para el Pacífico se registran aproximadamente 806 especies de peces, 551 de crustáceos, 459 de poliquetos y 30 de mamíferos marinos. De las 2000 especies marinas y estuarinas, aproximadamente, 449 se consideran peces de importancia comercial actual o potencial (Misión de Sabios 2019).

En relación con los peces dulce acuícolas, Colombia posee 1435 especies agrupadas en 14 órdenes y 47 familias, de las cuales, alrededor del 21 % son endémicas y 12 % de interés comercial. Los órdenes con el mayor número de especies son Characiformes (637), Siluriformes (524), Perciformes (124) y Gymnotiformes (74); los restantes órdenes tienen entre 1 a 35 especies. Las especies de peces nacionales representan a nivel global aproximadamente el 5 % de todas las especies marinas y dulceacuícolas reconocidas, y a nivel latinoamericano representan aproximadamente el 29 % de los peces de agua dulce que habitan desde el límite sur de México hasta Chile y Argentina (Misión de Sabios 2019).

En términos de ecosistemas Colombia posee 114.049.388 ha en ecosistemas continentales, y entre los ecosistemas marino-costeros e insulares están los arrecifes coralinos -2844 km² de formaciones en la región Caribe y 15 km² en la región Pacífica-; los manglares alcanzan 294.636,3 ha; los pastos marinos, exclusivos de la región llegan a 43.223 ha; los litorales rocosos, los fondos sedimentarios de la plataforma continental del Caribe Pacífico constituyen el 99,5 % de los ecosistemas marinos, ocupando una superficie estimada de 889.400 km², las playas; la zona pelágica u oceánica (Misión de Sabios, 2019).

Todas las áreas marinas y costeras mencionadas poseen una gran biodiversidad, un patrimonio natural fundamental, que forma uno de los sistemas más productivos que existen en el planeta.

2. La bioprospección marina en Colombia

Se han venido realizando actividades de bioprospección marina desde comienzos de los años 2000, bajo la dirección de entidades del Estado y universidades, con la participación de algunas pocas empresas del sector público y privado (Melgarejo et al, 2002). Dentro de los grupos de investigación que actualmente trabajan en el área de organismos marinos en Colombia se encuentran: el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR); el grupo de productos naturales marinos de la Universidad de Antioquia; el grupo de productos naturales marinos en los departamentos de química y de farmacia de la Universidad Nacional de Colombia; el Grupo de Productos Naturales de la Universidad de Cartagena; y el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (INCIMAR) de la Universidad del Valle. En el sector privado destacan C. I. Agrosoledad S. A., Idelcalao y el grupo conformado por el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), y la Empresa Asociativa de Trabajo Biosfera (Centro de Estudios y Proyectos). Esa conjunción entre los sectores público, privado y de investigación y desarrollo debería crear productos que puedan ser sujetos de protección vía patente y su posterior comercialización (Melgarejo et al, 2002; UdeA, 2020; Universidad de Cartagena, 2020; Univalle, 2020).

INVEMAR es responsable de realizar investigación básica y aplicada de los recursos naturales renovables y del medio ambiente en los litorales y ecosistemas marinos y oceánicos de interés nacional con el fin de proporcionar el conocimiento científico necesario para la formulación de políticas, la toma de decisiones y la elaboración de planes y proyectos que conduzcan al desarrollo de éstas, dirigidos al manejo sostenible de los recursos, a la recuperación del medio ambiente marino y costero y al mejoramiento de la calidad de vida de los colombianos, mediante el empleo racional de la capacidad científica del Instituto y su articulación con otras entidades públicas y privadas. Dentro de sus programas de investigación cuenta con el Programa de Valoración y Aprovechamiento de los Recursos Marinos y Costeros; dentro del cual existe una línea de investigación en bioprospección marina (BIM) apoyada por el Laboratorio de Bioprospección Marina (LABBIM) (INVEMAR, 2020a).

El LABBIM desarrolla actividades de investigación relacionadas con la búsqueda de sustancias y moléculas provenientes de organismos y microorganismos marinos, con potencial actividad biológica para su aplicación en la salud, industria y ambiente (biorremediación), y cuenta con tres secciones de trabajo (INVEMAR, 2020b) relacionadas con la bioquímica y microbiología, la química de productos naturales marinos, y el apoyo con sistemas de filtración, aireación y acuarios ideales para el mantenimiento y ensayos de actividad biológica con organismos marinos.

Algunos de los proyectos de investigación adelantados en Bioprospección Marina entre 2018 y 2020 se presentan en el cuadro 8.

Las actividades de bioprospección marina se han concentrado en el Caribe, en donde se registran más de 150 investigaciones publicadas sobre los compuestos químicos de organismos marinos (principalmente esponjas y octocorales); por el contrario, en el Pacífico únicamente existe un estudio sobre algas marinas en Buenaventura. En el Caribe los estudios se han enfocado en organismos como esponjas y octocorales, los cuales por sus compuestos químicos se pueden aprovechar como antibióticos, antivirales, anticancerígenos y antiinflamatorios (Bautista, 2017).

La búsqueda sistemática de compuestos bioactivos en organismos marinos del Caribe colombiano se ha realizado principalmente en corales blandos, ofiuros, estrellas, gorgónidos y esponjas, recolectados en su gran mayoría en la zona de Santa Marta y del Parque Nacional Natural Tayrona. Como resultado de estas investigaciones, para el año 2003, se había logrado aislar e identificar cerca de 500 compuestos bioactivos, 47 de ellos nuevos en la naturaleza y con importante actividad biológica (Duque et al, 2003).

Pese a estos avances, la bioprospección marina ha sido muy poco explorada debido a la baja capacidad para producir, difundir, usar e integrar conocimiento, como se señala en la Política Nacional

de Ciencia, Tecnología e Innovación. Evidencia de esto es que de los 84 bioproductos desarrollados en el país, ninguno proviene de la biodiversidad marina del país, lo cual limita la posibilidad de nuevos descubrimientos o desarrollos (CONPES 3930).

Cuadro 8
Algunos proyectos de investigación en bioprospección marina adelantados en Colombia 2013-2019

Entidad	Proyecto	Año	Estado
INVEMAR	Evaluación bioeconómica de pesca multipropósito con adaptaciones en la tecnología de captura en dos comunidades del área marino-costera contigua entre el norte del departamento del Magdalena y la Guajira, con proyección al fortalecimiento de la actividad.	2018	Terminado
INVEMAR	Recursos demersales en la Zona Exclusiva de Pesca Artesanal (ZEPA) y los Distritos Regionales de Manejo Integrado Golfo de Tribugá-Cabo Corrientes y Encanto de los Manglares del Bajo Baudó, y prospección pesquera del calamar gigante en el Pacífico colombiano	2019	Terminado
INVEMAR	Evaluación de sustancias activas de microorganismos marinos para la formulación de agentes antisépticos	2019	En Ejecución
INCIMAR	Análisis de la dinámica trófica en dos manglares del Pacífico colombiano mediante el uso integrado de isótopos estables y modelación ecosistémica: Importancia para la producción pesquera del sistema	Sin fecha	En Ejecución
UdeA	Síntesis de conjugados de citarabina con ácidos grasos y triterpenos con potencial antitumoral y estudio de su interacción con membranas lipídicas	2017	En Ejecución
UdeA	Determinación de la capacidad inhibitoria de 6 compuestos sintéticos epidioxisteroles (análogos al colesterol) sobre la replicación de <i>Mycobacterium tuberculosis</i> (Mtb) en macrófagos y células dendríticas in vitro.	2015	En Ejecución
UdeA	Desarrollo de técnicas para la obtención y caracterización de carbohidratos marinos como fuente potencial de nuevos fármacos	2014	En Ejecución
UdeA	Investigación y desarrollo: Síntesis de derivados bromotirosinios con actividad antiparasitaria	2013	En Ejecución
UNAL	Aprovechamiento de microorganismos marinos del caribe colombiano para el manejo de enfermedades fúngicas en el cultivo del arroz		En Ejecución
UNAL	Bioprospección de Productos naturales marinos Fase II: Algas y Cianobacterias bentónicas arrecifales		En Ejecución
UNAL	Evaluación y caracterización de una colección de aislamientos bacterianos provenientes del Caribe Colombiano para el control de fitopatógenos	2013	Terminado
UNAL	Terpenos marinos y derivados semisintéticos con posible actividad antiviral incrementada. Fase II	2015	En Ejecución

Fuente: INVEMAR Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés. (2020). El Instituto. [En Línea]. Disponible en: <http://www.invemar.org.co/web/guest/quienes-somos>.

3. Capacidades en educación, ciencia y tecnología en áreas de ciencias marinas

En el país existen 47 programas de pregrado relacionados con las ciencias del mar (de ellos, seis son del nivel técnico profesional, 26 de nivel tecnológico y 15 del nivel universitario). Con respecto a los programas de posgrado relacionados con el mar, existen 18 especializaciones, 10 maestrías y 12 doctorados que se ofrecen en el país (CONPES 3990).

A nivel institucional gubernamental se cuenta con el Programa Nacional en Ciencias del Mar y los Recursos Hidrobiológicos, y el Programa en Seguridad y Defensa liderado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. El primero busca formular las políticas, planes, programas y estrategias con el fin de promover, fomentar y consolidar la generación, uso y apropiación del conocimiento, que apoye el logro de las metas nacionales y sectoriales, para el desarrollo sostenible del océano, los espacios costeros y fluviales del país. El segundo busca crear capacidades nacionales para la creación,

transferencia y uso de conocimiento en el sector, a partir de la integración de las Fuerzas Armadas y la Sociedad, en la búsqueda del desarrollo de tecnologías duales (civiles y militares) (MinCiencias, 2020).

El Conpes 3930 muestra como a pesar de la existencia de estos programas de formación académica y de la institucionalidad gubernamental subsisten problemas relacionados con: (i) baja conciencia marítima y conocimiento desde la formación básica y cultural; (ii) reducida oferta de formación e investigación en temas marino-costeros, y (iii) baja sostenibilidad de estrategias que promuevan las capacidades científicas y técnicas para el conocimiento de los océanos. Los mayores vacíos de investigación se centran en temas de biología, dinámica de poblaciones, estructura y flujo genético de poblaciones, distribución, nicho ecológico, ecología e historia de vida (CONPES, 3930).

E. Recursos de los océanos y bioeconomía

1. La potencialidad y la conservación de los océanos en el contexto de la bioeconomía

Los océanos poseen las tres cuartas partes de la superficie terrestre y contienen el 97% del agua del planeta, alcanzando el 99 % del espacio vital global. De la diversidad biológica y marina de los océanos dependen aproximadamente 3.000 millones de personas y para cerca de 2.600 millones representa la fuente primaria de suministro de proteínas (CONPES 3930).

Los beneficios de soporte para la vida sobre el planeta que prestan los océanos son tanto o más importantes que sus beneficios económicos. La gama de servicios prestados por los ecosistemas marinos incluye alimentos, energía, recreación, servicios culturales, transporte, y rutas comerciales, entre otros. Sin embargo, estos servicios son afectados por factores ambientales como el cambio climático global y factores antrópicos como la sobrepesca, la pérdida de biodiversidad y la contaminación. Por ello es vital, tanto proteger como conservar todos los ecosistemas oceánicos, y a la vez garantizar la sostenibilidad de todas las actividades económicas que en torno a ellos se generan. La relación de costo: beneficio de dicha acción demuestra que las inversiones basadas en el océano producen beneficios para la sociedad a largo plazo, y que estos beneficios superan sustancialmente los costos (Kunar y Ding, 2020).

2. Utilidad y adición de valor para la biodiversidad marina

Desde los invertebrados marinos, pasando por los microorganismos autótrofos, los hongos, las algas y las macroalgas, hasta los crustáceos, los peces y sus residuos, todos pueden valorizarse eficientemente con el propósito de obtener diversos productos útiles en campos tan diversos como la salud humana, la salud animal, la agricultura, la industria, el sector cosmético, y el farmacéutico.

a) Sector farmacéutico

Los ámbitos para la valorización incluyen el desarrollo de antitumorales, antivirales, y analgésicos, principalmente. Un resumen de algunos desarrollos se incluye en el cuadro 9.

i) Antitumorales

Hasta el año 2015 cuatro medicamentos basados en productos naturales marinos estaban en el mercado para el tratamiento del cáncer, mientras que nueve eran moléculas prometedoras en diferentes fases de ensayos clínicos, con diferentes mecanismos de acción (incluidos apoptosis y acción sobre el factor de transcripción NF-KB) (Rangel M, Fankenber.2015). También el analgésico ziconotida (nombre comercial Prialt®) proveniente del gasterópodo marino *Conus magus*. (Romano G et al 2017), así como productos usados en tratamientos contra el cáncer como el de la *Halicondria oxadai* (cáncer de seno), *Ecteinascidia turbinata* (Carcinoma de tejidos blandos), *Tethya cripta*. (Leucemia), *Dolabella auricularia* (Linfoma hodgkin) (Romano G et al. 2017).

ii) **Antivirales**

A partir del nucleósido espongouridina obtenido de diversas fuentes marinas y por diferentes modificaciones semi sintéticas se obtuvieron los fármacos antivirales Vidarabina o Ara-A / Vira A 20, Aciclovir 21 y Zidovudina (azidotimidina o AZT) que inhibe las polimerasas de los virus del herpes de ADN del tipo vaccinia y varicela zoster que también son administrados en casos de conjuntivitis relacionada con el virus del herpes. (Rangel y Fankerberg, 2015). Los análogos de guanosina de origen marino permitieron desarrollar varios análogos de nucleósidos (Lamivudina (#TC), Abacavir (ABC) que se usan como parte de los tratamientos en terapias antirretrovirales contra el virus del VIH. (Rangel y Fankerberg, 2015).

iii) **Analgésicos**

Algunas formulaciones analgésicas derivadas de toxinas marinas se desarrollaron para el tratamiento del dolor neuropático y crónico, sobre todo en pacientes que no responden a la morfina. (Rangel y Fankerberg, 2015). En el cuadro 9 se presentan dos ejemplos.

Cuadro 9
Aplicaciones farmacéuticas

Antitumorales
Los nucleósidos de la esponja caribeña <i>Tectitethya crypta</i> se utilizaron como modelo para la síntesis de análogos como citarabina o Ara-C 1, el principio activo de Cytosar-U® de Upjohn aprobado para uso medicinal en 1972 para el tratamiento de la leucemia y el linfoma.
El tunicado <i>Ecteinascidia turbinata</i> produce la fuente inicial de variación de un derivado sintético de la trabectedina (ET-743) aprobado desde el año 2007 y que se comercializa comercialmente como Yondelis para el tratamiento del sarcoma de tejido blando avanzado o metastásico, (2007) y para el tratamiento del cáncer de ovario asociado a otros medicamentos (2009).
Varias especies de esponjas marinas, como <i>Halichondria okadai</i> , <i>Axinella</i> spp. y <i>Phakellia</i> producen un compuesto del tipo químico -poliéter halicondrina B 3 macrocíclico- que es usado como fuente para producir el análogo sintético mesilato de eribulina, comercializado desde el año 2010 y comercializado como HALAVE en la quimioterapia contra el cáncer de seno.
Analgésicos
Del veneno del mejillón <i>Conus magnus</i> se sintetizó el péptido ziconotida (-conotoxina MVIIA) que es un bloqueador de los canales de calcio tipo N que reduce el dolor crónico y neuropático y promueve la disminución de los reflejos de las extremidades superiores e inferiores, reduciendo así la espasticidad causada por la lesión medular.
De diferentes tipos de algas y bacterias marinas se puede sintetizar el alcaloide de guanidina tetrodotoxina (TTX) 24, bloqueador de los canales de sodio que tiene eficacia terapéutica como analgésico en pacientes con cáncer.
Otras aplicaciones
A Partir del coral blando <i>Pseudopterogorgia elizabethae</i> se obtiene un derivado hemi sintético de la pseudopterosina A 27, un glucósido diterpénico con actividades revitalizantes y cicatrizante de heridas
Los esteroides etílicos de ácidos omega 3 derivados de diferentes clases de peces marinos son empleados para tratar la hipertrigliceridemia factor de riesgo en la enfermedad coronaria.
De varias especies marinas como <i>Paranemertes peregrine</i> y <i>Amphiporus lactifloreus</i> se obtienen derivados sintéticos del alcaloide Anabaseine como el DMXBA (3- (2,4-dimetoxibencilideno) -anabaseine, también conocido como GTS-21 29 (GTS-21) con el que se desarrollan medicamentos para el tratamiento de Alzheimer y esquizofrenia en sus fases clínicas.
Del estómago del tiburón <i>Squalus acanthias</i> se obtiene un aminoesterol, el lactato de escualamina (MSI-1256 F) que muestra actividad antibiótica y es potente inhibidor de la angiogénesis por lo que se evalúa en ensayos clínicos contra el cáncer; mientras que en otras evaluaciones clínicas de fases II y III se busca emplearlo en la degeneración macular húmeda relacionada con la edad (AMD húmeda) oftalmológica (Rangel y Fankerberg, 2015).

Fuente: Fankerberg (2015) y Rangel y Fankerberg (2015).

b) **Sector cosmético**

Los hongos marinos constituyen una fuente biológica relativamente sin explotar para el descubrimiento de nuevos productos naturales y para la obtención de metabolitos secundarios empleados en la industria cosmética, en cosmecéutica, en tratamientos antienvjecimiento, blanqueamiento de la piel y tratamientos del acné común, entre otros (Agrawala S.2018).

i) Envejecimiento cutáneo

Según Euro monitor International, el cuidado de la piel antienvjecimiento es una industria grande y dinámica, que cubre el 22% del mercado mundial del cuidado de la piel, con un valor de 66 mil millones de dólares en 2007 y se supone que alcanzará los 216 mil millones de dólares para 2021 (Agrawala S.2018). Ejemplos de desarrollos a partir de recursos marinos se presentan en el cuadro 10.

ii) Blanqueamiento de la piel

Los inhibidores de tirosinasa son clínicamente útiles para el tratamiento de algunas enfermedades dermatológicas asociadas con la síntesis de melanina como hiperpigmentación, melasma, mancha caféaulait y lentigo solar. También son útiles en aplicaciones cosméticas como aclarar la piel (Agrawala S. 2018).

iii) Tratamientos antiacné

Una investigación sobre la prevalencia de colonización cutánea por *Propionibacterium acnes* resistente a antibióticos en pacientes con acné durante un período de 10 años mostró que la proporción de pacientes con cepas resistentes. a uno o más antibióticos antiacné de uso común está aumentando) por lo que es necesario descubrir nuevas moléculas bioactivas contra *P. acnes* y *S. epidermidis* (Agrawala, 2018).

Recientemente, se extrajeron dos piridonas inusuales, tricodina A y tricodina B, de micelios y caldo de cultivo del hongo marino *Trichoderma* sp. cepa MF106 aislada de los mares de Groenlandia. La tricodina A y B mostraron actividad antibiótica contra *S. epidermidis* (Agrawala, 2018).

Cuadro 10
Aplicaciones cosmecéuticas

<p>Envejecimiento cutáneo</p> <p>Los hongos marinos <i>Phaeotheca triangularis</i>, <i>Trimmatostroma salinum</i>, <i>Hortaea werneckii</i>, <i>Aureobasidium pullulans</i> y <i>Cryptococcus liquefaciens</i> producen micosporina (micosporina – glutaminol– glucósido y micosporina – glutamicol – glucósido, y estas moléculas absorben luz UV en el rango de 310 a 320 nm usadas en tratamientos de envejecimiento cutáneo.</p> <p>Los hongos marinos pertenecientes a los géneros <i>Rhodotorula</i>, <i>Phaffia</i> y <i>Xanthophyllomyces</i> son una fuente potencial de carotenoides que tienen en efecto antioxidante y antiinflamatorio significativo que puede contribuir a la fotoprotección de la piel.</p> <p>El hongo marino <i>Acremonium</i> sp., produce cuatro nuevos derivados de hidroquinona con una actividad antioxidante significativa.</p> <p>El exopolisacárido antioxidante EPS2 se aisló del hongo filamentoso marino <i>Keissleriella</i> sp. YS 4108 y mostró una fuerte actividad de eliminación de radicales superóxidos.</p>
<p>Blanqueamiento de la piel</p> <p>A partir de hongos del género <i>Myrothecium</i>. se han aislado dos nuevas 3-amino-5-etenilciclopentenonas, mirotenonas A y B, Solo las mirotenonas A exhibieron actividad inhibidora de tirosinasa, con un valor de CI50 de 0,8 uM.</p> <p>A partir del hongo marino <i>Botrytis</i> sp se aisló un nuevo derivado de al-pirona, 6 - [(E) -Hept-1-enil] que exhibió una mayor actividad inhibitoria de tirosinasa que el ácido kójico.</p> <p>Dos nuevos sesquiterpenos, 1β, 5a, 6a, 14-tetraacetoxi-9a-benzoiloxi-7β H-eudesman-2β, 11-diol y 4a, 5a-diacetoxi-9a-benzoy loxy- 7βH-eudesman-1β, 2β, 11, 14-tetraol, se aislaron de <i>Pestalotiopsis</i> sp. Z233 obtenido del alga <i>Sargassum horneri</i>. Estos compuestos mostraron actividades inhibitoras de la tirosinasa.</p>

Fuente: Agrawala (2018).

c) Otras industrias: valorización de subproductos marinos

La amplia diversidad química y biológica que se observa en el medio marino hace del océano una fuente extraordinaria de compuestos de alto valor añadido (HAVC) que pueden emplearse en muchas aplicaciones. Los minerales, lípidos, aminoácidos, polisacáridos y proteínas de fuentes marinas tienen características únicas y, sorprendentemente, su concentración más alta se encuentra a menudo en partes de organismos marinos que comúnmente se descartan. Las cabezas, vísceras, piel, colas, despojos y sangre de pescado, así como las conchas de mariscos, poseen varios HAVC adecuados para

aplicaciones de salud humana, pero la mayoría terminan como residuos durante el procesamiento de la materia prima (Ferraro et al, 2010). En el recuadro 5 se presenta una lista de productos de alto valor agregado a partir de la diversidad química y biológica de los recursos marinos.

Recuadro 5

Productos de alto valor agregado a partir de la diversidad química y biológica de los recursos marinos

- **Omega 3:** Los concentrados de ácidos grasos omega-3 son de amplio interés para las industrias farmacéutica, alimentaria y nutricional.
- **Creatina:** La Creatina es un neuroprotector contra las agresiones isquémicas y oxidativas, incluso en la enfermedad de Parkinson, la neurodegeneración en la enfermedad de Huntington y los efectos terapéuticos en la enfermedad de las encefalomiopatías mitocondriales y ejerce funciones cardíacas como el mantenimiento del rendimiento del músculo cardíaco, el suministro de energía durante el ejercicio muscular intenso y la promoción de masa libre de grasa. Las fuentes principales de la creatina son el arenque marino, el salmón y el bacalao (Ferraro V. et al. 2010).
- **Taurina:** Se usa junto con la creatina en las industrias alimentaria y farmacéutica que emplean aminoácidos libres en concentraciones elevadas para la producción de complementos alimenticios, fórmulas para lactantes y adultos y medicamentos. Las fuentes principales de taurina son los mejillones, las almejas frescas y pescados blancos crudos.
- **Quitina, Quitosan y sus oligómeros:** La quitina y el quitosano son polisacáridos marinos ubicuos que se usan principalmente en las industrias farmacéuticas, de nutrición, como aditivo alimenticio, agente antimicrobiano, y agente para purificación de aguas, entre otros y que se obtienen comercialmente (el quitosan y sus oligómeros) partir de quitina aislada de desechos de conchas de cangrejos, camarones y krill marino.
- **Colágeno y gelatina:** La gelatina, como el colágeno, se usa comúnmente en aplicaciones farmacéuticas y médicas, debido a su biodegradabilidad y biocompatibilidad en los ambientes fisiológicos y porque suministra elasticidad, consistencia y estabilidad a los alimentos, así como para la encapsulación y formación de películas en las industrias farmacéutica, cosmética y fotográfica. La gelatina proveniente de peces de agua templada (atún, sardina y anchoas) puede ser una buena alternativa a la de cerdo, debido a su mayor contenido de prolina e hidroxiprolina y hoy se usa como ingrediente para el recubrimiento de alimentos y medicamentos, en particular cuando el olor y el sabor de los medicamentos son desagradables.
- **Hidroxiapatita:** Los compuestos provenientes de hidroxiapatita exhiben una particular característica su biocompatibilidad a largo plazo lo que los hace excelentes candidatos para el desarrollo de compuestos y componentes biocompatibles (composites bioinerts) en la industria biomédica y farmacéutica. Estos compuestos biocompatibles pueden ser temporales y permanentes y cuando provienen de fuentes de animales o peces conservan muchas de sus características fisicoquímicas. Hoy en día, sin embargo, la hidroxiapatita obtenida de fuente natural, como huesos de pescado y animales, hereda tales propiedades estructurales de la materia prima original, además de la composición química deseada, por lo que es una mejor alternativa para numerosos dispositivos basados en hidroxiapatita sintética.
- **Proteínas Anticongelantes:** Las proteínas anticongelantes, también conocidas como proteínas de histéresis térmica, provienen de la sangre de peces que viven en áreas congeladas y que ejercen en ellos un efecto de regulación osmótica. Estas proteínas anticongelantes tienen una gran aplicación en la tecnología de alimentos congelados (al lograr mantenimiento de la textura natural, la reducción del daño celular y la pérdida de nutrientes), en la fabricación de alimentos con bajo contenido de grasa, en la crío preservación de órganos trasplantados, la criocirugía y la acuicultura.
- **Enzimas:** Los invertebrados acuáticos en general, así como los órganos internos de los peces y las conchas de los crustáceos, constituyen fuentes naturales de enzimas de gran interés para el hombre. Las proteinasas y las peptidasas tienen aplicaciones en las industrias farmacéuticas y de alimentos. La pepsina extraída del bacalao polar es una de las proteasas gástricas más usadas, seguida de colagenasa, elastato, tripsina y quimotripsina, así como enzimas no proteolíticas, como transglutaminasa, lipasas y enzimas quitinolíticas en menor grado.
- **Astaxantinas:** Por su enorme capacidad como precursor de la Vitamina A y como antioxidante las astaxantinas de fuentes naturales (incluida la fuente marina) presenta múltiples aplicaciones entre ellas: proteger contra los cánceres inducidos químicamente y la degeneración macular relacionada con la edad, mejora el sistema inmunológico y prevenir los daños derivados de la radiación ultravioleta.

Fuente: Ferraro et al., (2010).

d) Usos no convencionales (bioincrustantes de origen marino)

La bioincrustación representa un problema económico importante con respecto a las industrias marítimas y también plantea una importante preocupación ambiental. La legislación internacional está restringiendo el uso de recubrimientos antiincrustantes (AF) basados en biocidas, y se han realizado cada vez más esfuerzos en la búsqueda de agentes AF respetuosos con el medio ambiente (Almeida y Vasconcelos, 2015).

La naturaleza proporciona buenos modelos de antiincrustante (AF) mediante una combinación de estas señales químicas y también propiedades físicas, incluida la rugosidad de la superficie y la hidrodinámica de los fluidos. Los mejillones, cangrejos y tiburones, entre otros, poseen superficies exteriores que pueden inhibir la epibiosis¹ y la bioincrustación (Almeida y Vasconcelos, 2015).

e) Sector agrícola

Las macroalgas marinas son organismos vegetales con estructuras internas simples que generalmente viven en áreas costeras. Incluyen principalmente diferentes comunidades de macroalgas rojas, marrones y verdes. Las macroalgas marinas comúnmente ocupan zonas intermareales y sublitorales y se establecen en litorales en rocas y otros sustratos duros. Estas macroalgas pueden emplearse como bio-productos para sanidad vegetal pues tienen importantes actividades como microbicidas, nematocidas, insecticidas, biofertilizantes, bioestimulantes, acondicionadores del suelo e incluso como quelantes de metales, entre otras. Las macroalgas marinas también se consideran recursos valiosos para el mejoramiento de las plantas debido a su mayor contenido de sustancias minerales, aminoácidos, vitaminas y reguladores del crecimiento de las plantas, incluidos los auxinas, citoquininas y giberelinas (Hamed et al, 2018).

i) Bioestimulantes

El extracto de *A. nodosum* de origen marino puede aplicarse en césped y pastos forrajeros porque aumenta los metabolitos antioxidantes en plantas tales como tocoferol, ácido ascórbico y b-caroteno, así como las actividades de algunas enzimas antioxidantes como el superóxido dismutasa, GSH reductasa y ascorbato peroxidasa.

ii) Bactericidas

Las macroalgas marinas producen un amplio espectro de metabolitos químicamente activos que incluyen alcaloides, policétidos, péptidos cíclicos, polisacáridos, florotaninos, diterpenoides, esteroides, quinonas, lípidos y gliceroles que tienen una amplia gama de actividades biológicas contra otros organismos en su entorno (Hamed, 2018). En el cuadro 11 se presentan ejemplos.

iii) Fungicidas y viricidas, nematocidas y bioinsecticidas

Las preparaciones de algas crudas y purificadas pueden proteger las plantas contra varios hongos patógenos. También pueden actuar como viricidas varios compuestos activos de las algas que incluyen polisacáridos, alcaloides, flavonoides, polifenoles muestran interesantes actividades viricidas en plantas. Las macroalgas marinas son una fuente importante de compuestos bioactivos del tipo nematocida como lo muestran algunos de los siguientes ejemplos (Hamed, 2018).

¹ Es la relación permanente o no que se establece entre dos especies diferentes en la que una sirve de sustrato de fijación para la otra. En esta relación la especie que se fija siempre sale beneficiada, mientras que la que sirve de sustrato puede no ser afectada, puede ser afectada (especies que pierden capacidad de obtener luz o alimento a medida que van estando más recubiertas), o puede ser beneficiada (especies que ganan en camuflaje al estar recubiertas).

Cuadro 11
Aplicaciones en el sector agrícola

Bactericidas
<p>El extracto metanólico de <i>Sargassum wightii</i>, actualmente identificado como <i>S. swartzii</i> C. Agardh, exhibe actividad contra la bacteria fitopatógena <i>Pseudomonas syringae</i>, que causa la enfermedad de las manchas foliares en la valiosa planta medicinal <i>Gynemna sylvestre</i>.</p> <p>Los extractos acetónicos de la macroalga marrón, <i>Sargassum polyceratum</i> (Phaeophyceae) muestran una actividad notable contra diferentes tipos de bacterias como <i>Staphylococcus aureus</i>, <i>Erwinia carotovora</i> (ahora conocida como <i>Pectobacterium carotovora</i>) y <i>Escherichia coli</i>.</p> <p>El extracto metanólico de <i>Padina gymnospora</i> caracterizado por una alta proporción de ácido palmítico mostró una alta actividad antibacteriana contra las bacterias patógenas del suelo <i>Ralstonia solanacearum</i> y <i>P. Carotovora</i>.</p> <p>Los polisacáridos extraídos de macroalgas marinas, en particular los ulvanos de las algas verdes (Chlorophyta), los alginatos, los fucanos y las laminarinas de algas pardas (Phaeophyta), y los carragenanos y porfirános de las algas rojas (Rhodophyta) y sus oligosacáridos derivados, estimulan en las plantas respuestas de defensa y protección contra un amplio espectro de patógenos que infectan las plantas.</p>
Fungicidas
<p>El alga marrón <i>L. digitata</i> induce el mecanismo de defensa de las plantas y las protege contra varios patógenos como <i>Botrytis cinerea</i> y <i>Plasmopara viticola</i> en la vid.</p> <p><i>Stokeyia indica</i> (actualmente conocida como <i>Polycladia indica</i>) y <i>Melanothamnus afaqhusainii</i> tienen efectos supresores significativos contra los hongos que pudren las raíces (<i>Fusarium solani</i> y <i>Macrophomina phaseolina</i>) que atacan a la berenjena (<i>Solanum melongena</i>).</p> <p>Algunos extractos de macroalgas marinas reducen la incidencia del moho gris por <i>B. cinerea</i> en las fresas, y la enfermedad del mildiú polvoriento causada por <i>Erysiphe polygoni</i> en los nabos y la marchitez de las plántulas de tomate.</p> <p>Los extractos de algas <i>U. armoricana</i> reducen la incidencia de enfermedades foliares de tres enfermedades del mildiú polvoroso en plantas de frijol común, vid y pepino.</p>
Viricidas
<p>Los polisacáridos sulfatados provenientes de las algas pardas tienen actividades antivirales eficientes al bloquear la adsorción viral en la membrana celular de la planta.</p> <p>Los alginatos (ingrediente específico polisacáridos de las algas pardas) inhiben el virus X de la patata (PVX) con un porcentaje del 95% a una concentración de 10 mg / ml.</p> <p>Las betaínas, dictyodial, dictyol C, dictyol H del alga parda marina (<i>Dictyota ciliolata</i>) poseen actividades citotóxicas y antivirales contra algunos virus de plantas.</p> <p>Los kappa/beta-carragenanos extraídos de <i>Tichocarpus crinitus</i> suprimen la infección por TMV en hojas de tabaco <i>Xanthi-nc</i>.</p>
Nematicidas
<p>La mezcla del suelo con polvos de macroalgas marinas de <i>Spatoglossum variabile</i>, <i>Polycladia indica</i> y <i>Melanothamnus afaqhusainii</i> suprimió significativamente la infección con el nemátodo agallador <i>Meloidogyne neincognita</i> que ataca la sandía y la berenjena.</p> <p>La inoculación del suelo con los bioestimulantes de algas agrícolas podría reducir la invasión de las raíces de las plantas de tomate por los juveniles de segunda etapa de los nematodos del nudo de la raíz <i>M. javanica</i> y <i>M. incognita</i>.</p> <p>Los extractos de algas marinas disponibles comercialmente derivados de las macroalgas pardas <i>Ascophyllum nodosum</i> y <i>Ecklonia máxima</i> tienen la capacidad in vivo para afectar negativamente la eclosión de sus huevos y las percepciones sensoriales de los nematodos agalladores <i>Meloidogyne chitwoodi</i> y <i>M. hapla</i>.</p>
Bioinsecticidas
<p>Los extractos clorofórmicos de <i>S. Swartzii</i> y <i>P. pavonica</i> pueden causar mortalidad ninfal de <i>Dysdercus cingulatus</i> después de 96 h.</p> <p>El cloroformo y los extractos acuosos de <i>S. swartzii</i> pueden acortar la longevidad masculina y femenina de <i>D. Cingulatus</i>.</p> <p>Los extractos crudos de algas del tipo <i>Caulerpa scalpelliformis</i>, <i>Padina pavonica</i>, <i>Sargassum tenerrimum</i>, <i>Ulva fasciata</i> y <i>U. lactuca</i> mostraron actividad de insecticida frente a las plagas de insectos del algodón <i>Dysdercus spp.</i></p>

Fuente: Hamed (2018).

f) Sector alimentos

El uso de fuentes de origen marino se constituye en una de las líneas de investigación y desarrollo más promisorias, enfocada en el desarrollo de ingredientes funcionales de uso en la producción de alimentos. Se consideran alimentos funcionales aquellos que, han demostrado científicamente que afectan beneficiosamente a una o varias funciones del organismo, de manera que proporcionan un mejor estado de salud y bienestar. Estos alimentos, además, ejercen un papel preventivo ya que reducen los factores de riesgo que provocan la aparición de enfermedades (Aranceta y Serra, sf).

F. Viabilidad de un proyecto país bioeconomía azul

1. Factores habilitantes

a) Capacidad para obtener financiación

Este proyecto a nivel nacional se inscribiría en el marco de los proyectos financiables vía convocatorias por parte del Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación dentro de las siguientes líneas temáticas. En turismo de naturaleza se busca vincular la propuesta con proyectos regionales ya establecidos tanto en la región Atlántica como en la Pacífica. En lo correspondiente a “De la Naturaleza a la Nutracéutica, la Farmacéutica y la Cosmética” y en lo correspondiente a “Colombia Genómica”.

La Financiación para los aspectos correspondientes a turismo científico puede provenir de FONTUR (Fondo del turismo del Ministerio de Comercio Industria y Turismo), en el área de promoción y competitividad del turismo; y de recursos departamentales de apoyo al turismo en cada uno de los departamentos que conforman la región Atlántica y la Pacífica.

La financiación para los aspectos de investigación básica y aplicada puede provenir de fondos de origen gubernamental por dos vías:

- i) A través de recursos del Sistema General de Regalías como un gran proyecto país que combina el turismo científico y la investigación básica avanzada, acelerando sobre lo ya construido para adicionar conocimiento genómico (e.g. proteómica, metabolómica) que efectivamente permita avanzar hacia el aprovechamiento sostenible de la biodiversidad presente en los ecosistemas marinos colombianos.
- ii) A través de macroproyectos nacionales ligados a recursos de regalías por la vía de las RAP, (Regiones Autónomas de Planificación) que en este caso corresponderían a la RAP Atlántico y a la RAP Pacífico.

La financiación internacional puede venir de fondos bilaterales de cooperación internacional en países o regiones cuya prioridad de I+D se encuentre ligada a los océanos (Unión Europea, Países nórdicos, Canadá) o de instituciones multilaterales como la Corporación Financiera Internacional (IFC) del Banco Mundial o de recursos de los países que conforman la Alianza del Pacífico. AP (para el área de la región pacífica).

b) Recursos humanos

En el país existen 47 programas de pregrado relacionados con las ciencias del mar (6 son de nivel técnico profesional, 26 de nivel tecnológico y 15 universitarios). Con respecto a los programas de posgrado relacionados con el mar, existen 18 especializaciones, 10 maestrías y 12 doctorados que se ofrecen en el país.

Dentro de los grupos de investigación que actualmente trabajan en el área de organismos marinos en Colombia se encuentran el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR, el grupo de productos naturales marinos de la Universidad de Antioquia, el grupo de productos naturales marinos en los Departamentos de Química y de Farmacia de la Universidad Nacional de Colombia; el Grupo de Productos Naturales de la Universidad de Cartagena; el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (INCIMAR) de la Universidad del Valle. En el sector privado C. I. Agrosoledad S. A., Idelcalao y finalmente el grupo conformado por el Instituto Colombiano del Petróleo ICP y Biosfera Centro de Estudios y Proyectos.

c) **Gobernanza**

La Institucionalidad pública está representada por el anterior Programa Nacional en Ciencias del Mar y los Recursos Hidrobiológicos y por el Programa Nacional en Seguridad y Defensa liderado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación liderados por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.

Un proyecto como el que se presenta debería tener una cabeza institucional liderada por el Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación y el Ministerio de Comercio Industria y Turismo, con un órgano asesor conformado por representantes de las universidades, centros o institutos de investigación involucrados, las regiones autónomas de planificación (si deciden ser parte del proyecto) y representantes de cada uno de los departamentos involucrados.

d) **Capacidad de Involucrar al sector privado**

Este proyecto se desarrollaría en dos etapas. La primera estaría orientada a producir *un cambio conceptual en el modelo actual de turismo científico y bioprospección marina*, con el objeto de que éstos incorporen un enfoque basado en bioeconomía y las herramientas de la biotecnología moderna para obtener bioproducto (s) de beneficio para la sociedad.

Corresponde en esta etapa involucrar a los actores regionales de las cadenas de valor del turismo tanto en la región Atlántica como en la Pacífica, a efecto de garantizar que los operadores locales de turismo (agencias locales de turismo, transporte terrestre y marítimo, guías de turismo, proveedores de servicios de alimentación, hospedaje, insumos como motores, combustibles, etc.) establezcan en sus regiones una nueva línea de negocio enfocada no solo en el placer, la contemplación y la recreación, sino dedicada al turismo científico y a la bioprospección marina con enfoque de bioeconomía, buscando que los actores regionales validen la propuesta y que esta sirva como una herramienta para el desarrollo territorial.

La segunda etapa corresponde a la ejecución del proyecto a mediano y largo plazo y estaría orientada a evaluar el potencial de la biodiversidad marina y oceánica con fines de: salud humana, agrobiotecnología, nutracéutica, farmacéutica y cosmética. El sector privado interesado puede ubicarse a lo largo de toda la cadena de valor de los potenciales proyectos, sobre todo en el sector de agrobiotecnología y cosméticos.

2. **Impactos potenciales**

a) **Aporte a los ODS**

El proyecto aporta directamente al cumplimiento de los ODS 12 Producción y consumo responsable y ODS 14 Vida submarina. En la medida en la que los actores locales de las regiones Atlántica y Pacífico se involucren en su desarrollo se impactaran también el ODS 8 Trabajo decente y crecimiento económico, y el ODS 10 Reducción de las desigualdades.

b) **Capacidad de lograr desarrollo territorial:**

Este es un proyecto 100% regional con el cual se pueden impactar las zonas marinas y costeras de la Región Atlántico y de la Región Pacífica y la zona insular del Archipiélago de San Andrés, Providencia, Santa Catalina e islotas y cayos relacionados.

Considerando las diferencias en los índices de desarrollo y competitividad (IDC), se busca que en la región Atlántica, los Departamentos de Antioquia y Atlántico, que tienen los mejores IDC (2019) apoyen y acompañen en esta propuesta a los de menor índice de competitividad (Bolívar, Córdoba, Magdalena, San Andrés y Providencia, Sucre y Guajira). Y en la región pacífica, que el Departamento del Valle del Cauca debería acompañar en la propuesta a los departamentos de Cauca, Nariño y Chocó.

c) Aporte del proyecto al proceso de recuperación pospandemia de COVID-19

En la etapa global en la cual se encuentra el planeta sumergido por la crisis sanitaria mundial provocada por el virus SARSCOV-2 causante de la enfermedad del COVID-19 uno de los sectores más afectados es el del turismo global a gran escala, aéreo, marítimo o terrestre, que por ahora y hasta tanto no contar con una vacuna o tratamiento efectivo se encontrara detenido. Las soluciones alternativas a esta situación se encuentran en buscar alternativas novedosas de desarrollo del turismo local nacional y regional/local que permitan nuevas experiencias y conocimientos.

Este es el caso del proyecto que se propone y que busca combinar el conocimiento científico alrededor de nuestra biodiversidad marina, pero elevándola al nivel de conocimiento genómico y acompañándolo de una estrategia de desarrollo turístico regional sostenible que busca ser fuente de cierre de brechas territoriales y de apoyo a la superación de las desigualdades en tres territorios del país (Atlántico, Pacífico y Archipiélago de San Andrés Providencia y Santa Catalina).

d) Convergencia tecnológica

El proyecto para ser exitoso deberá contar con dos herramientas fundamentales: a) Genómica asociada fundamentalmente a las áreas de proteómica (Proteínas), y b) metabolómica (metabolitos), pues de estas investigaciones básicas se podrán posteriormente evaluar la factibilidad de obtener un bien o un servicio provenientes de los ecosistemas marinos del país.

El proyecto debe contar con herramientas como tecnología satelital del tipo GPS (Global Positioning Systems); sistemas de información geográfica (GIS) y drones para evaluar entre otros aspectos los límites geográficos de los recursos, la ubicación (zona económica exclusiva, la presencia o ausencia de grandes ecosistemas marinos, zonas de alta biodiversidad, y concentración de especies endémicas, entre otras.

IV. Biorrefinería de residuos agroindustriales, ganaderos y porcícolas

A. Visión estratégica

Se propone desarrollar un proyecto país de biorrefinería de residuos agroindustriales, ganaderos y porcícolas que contribuya a implementar las recomendaciones de la Misión Internacional de Sabios 2019 respecto a vertimiento y disposición de residuos sólidos y líquidos y creación de empresas.

El proyecto incluiría:

- Biorrefinería de residuos agroindustriales de **Caña de Azúcar** en el Departamento del Valle del Cauca eje de uno de los cuatro núcleos azucareros del país, cercano logísticamente al puerto de Buenaventura, con un clúster de caña de azúcar y con Universidades y Centros de Investigación con grupos activos de investigación que pueden aportar al desarrollo de la propuesta.
- Biorrefinería de residuos agroindustriales de **Palma de aceite** localizada en uno de los nueve núcleos palmeros del país, específicamente en aquellos localizados cerca a la costa atlántica del país con influencia en los Departamentos Bolívar, Sucre, Atlántico, etc., cercanos logísticamente al puerto de Barranquilla y con universidades como la Universidad de Cartagena con grupos de investigación en el área.
- Biorrefinería de residuos agroindustriales de **Café** en el Eje Cafetero (Risaralda, Caldas, Quindío) sitio donde se concentra la mayor parte de producción cafetera del país.
- Biorrefinería de residuos agroindustriales de **Plátano** localizada principalmente en las zonas de Urabá y noreste de Antioquia, Centro y Llanos Orientales y Sur del Cauca.
- Biorrefinería de residuos agroindustriales de la **Industria cárnica y porcina** localizada cerca de alguna de las grandes ciudades que posee plantas industriales de procesamiento cárnica y/o porcícola, tales como Bogotá, Medellín y Cali.

El proyecto pretende colaborar con las metas de la Misión de sabios 2019 relacionadas con: a) disminuir al año 2022 el vertimiento y disposición de residuos sólidos y líquidos al 80%; y b) crear al año 2030 cinco biorrefinerías con vocación exportadora.

B. Antecedentes

Los residuos provenientes de las actividades agroindustriales y pecuarias en el país constituyen una fuente importante de contaminación ambiental al no ser tratados o dispuestos de la manera más adecuada. Ello ocasiona emisión de gases de efecto invernadero, contaminación de cuerpos de agua y afectaciones a la salud pública de todos los colombianos.

El Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) reporta que en el año 2018 la oferta de residuos sólidos y de productos residuales en Colombia alcanzaba los 24.85 millones de toneladas, de los cuales el 86% (21.38 millones de ton) corresponde a residuos sólidos y el 14% (3.47 millones de ton) a productos residuales. La tasa de aprovechamiento de los residuos sólidos y productos residuales solo llega en el país al 48.8% (lo que significa que existe un amplio margen de cerca del 52.2% para trabajar en labores de aprovechamiento de dichos residuos y productos residuales) (DANE, 2020 y DANE 2020b).

La biomasa residual agrícola y pecuaria es un recurso con un gran potencial para crear valor económico, social y ambiental in situ en los territorios, a la vez que se contribuye con el cumplimiento de las metas nacionales (Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022, Producción y Consumo Responsable, Crecimiento Verde, Estrategia Nacional de Economía circular), e internacionales del país en materia de medio ambiente y cambio climático (disminución al 20% de los gases de efecto invernadero para el 2030 del Acuerdo de París), así como con el logro de los ODS de la Agenda 2030.

Dado este enorme potencial en biomasa residual agrícola y pecuaria que el país posee y su pobre nivel de aprovechamiento, las biorrefinerías de residuos agroindustriales surgen como una alternativa muy útil y eficiente para la obtención de diversos productos de mayor valor agregado con aplicaciones en múltiples sectores. Por ello esta propuesta presenta los factores habilitantes y los criterios de impacto que le darían viabilidad al desarrollo de cuatro biorrefinerías basadas en residuos agroindustriales y a una biorrefinería de residuos ganaderos y porcícolas.

C. El concepto de biorrefinería

1. ¿Qué es una biorrefinería?

La biorrefinería puede definirse como *“el procesamiento sostenible de biomasa que utilizando una amplia variedad de tecnologías de conversión de manera integrada obtiene un espectro de productos comercializables, alimentos, piensos, materiales, químicos, energía (combustibles, energía y calor)”* (Parisi, 2018).

Las biorrefinerías se caracterizan por el uso de fuentes renovables (en contraposición a las refinerías petroquímicas convencionales) y por el empleo de procesos ecoeficientes y con baja huella ambiental. Más aún, se ubican fundamentalmente en localizaciones geográficas agrícolas o agroindustriales atendiendo a la disposición y la logística para la gestión, manejo y uso de una determinada biomasa y al tipo de bioproducto que se desee obtener (López, 2020). Las biorrefinerías integran distintos tipos de procesos físicos, mecánicos, termoquímicos y/o biológicos y pueden distinguirse en ellas: i) procesos primarios de acondicionamiento que transforman la biomasa en intermediarios (azúcares, ácidos grasos volátiles, biogás, etc.) y ii) procesos secundarios de transformación y procesado de estas plataformas en el producto final (López, 2020).

Una fuente importante de biomasa que puede ser aprovechada en procesos de biorrefinería es la biomasa residual, que está constituida por los residuos o subproductos de actividades agrícolas y ganaderas, forestales, industria alimenticia, así como fracciones orgánicas de residuos sólidos de zonas urbanas y lodos provenientes del tratamiento de aguas servidas, domésticas e industriales.

El uso tradicional que se le da a la biomasa de desecho agrícola y forestal en procesos de biorrefinería es para su tratamiento y adecuación para obtener compost o bioenergía, generalmente biogás. Sin embargo, al hacerlo únicamente en tales usos se desaprovechan otros usos energéticos potenciales importantes, así como la posibilidad de crear diversos y variados productos de interés en la industria. El aprovechamiento más integral de la biomasa de desecho permite una mayor valorización de la biomasa *in situ*, aplicando principios de economía circular, lo que trae consigo importantes impactos ambientales y sociales. La biorrefinería permite expandir las posibilidades para utilizar diferentes tipos de biomasa y obtener diferentes tipos de productos.

En una industria petroquímica (fósil) convencional existen bloques de construcción como metanol, etileno, propileno, butadieno, benceno, entre otros, que sirven como el output para producir distintos tipos de polímeros y compuestos químicos. En una biorrefinería estos bloques de construcción pasan a ser aminoácidos, ácidos grasos volátiles (AGV), alcoholes, celulosa, ésteres, lignina, lípidos CO₂, gas de síntesis, proteínas, etc. que me permiten obtener productos tan variados como biofertilizantes, biomateriales, químicos biobasados y biocombustibles entre muchos otros (De Jong et al, 2020).

Los productos de las biorrefinerías pueden ser tan variados como: i) electricidad y calor; ii) productos energéticos (biocombustibles sólidos, líquidos y biogás); iii) productos no energéticos (alimentos, piensos, fertilizantes, y bioproductos tales como bioplásticos, bioadhesivos, biolubricantes); y iv) productos bioquímicos (generalmente vendidos como *commodities* o *building blocks* para ser transformados como bioproductos).

2. Clasificación de las biorrefinerías

Las biorrefinerías pueden clasificarse de acuerdo con varios criterios. Una de las clasificaciones más utilizadas distingue entre las *biorrefinerías primarias o convencionales* (p. ej. las que usan leña, astillas de madera y gránulos sólidos) y las *biorrefinerías secundarias o avanzadas*, que manejan el procesamiento de la materia prima utilizando diferentes tecnologías de conversión (biológica, termoquímica, química y física) para convertirla en etanol, biodiésel, biogás, éter y éter dimetilico, entre otros muchos productos (Nizami et al 2017).

Otro tipo de análisis las clasifica según: i) su *grado de desarrollo tecnológico* u origen de la materia prima (primera, segunda y tercera); ii) el *tipo de biomasa* tratada (agrícola, forestal, ganadera, doméstica, industrial, residual); iii) el tipo de plataforma química predominante (azúcares, proteínas, biogás, gas de síntesis); y iv) el tipo de productos obtenidos (Nizami et al 2017).

En términos de los productos obtenidos, pueden clasificarse según estos sean: i) múltiples productos de la misma categoría, ii) múltiples categorías de productos, o iii) por la integración entre productos y energía (Parisi, 2020).

En lo relativo a biorrefinerías de desechos, según el origen de estos Nizami (et al. 2017) las clasifican en las siguientes categorías: i) biorrefinerías de desechos agrícolas; ii) biorrefinerías de residuos forestales; iii) biorrefinerías de residuos industriales; iv) biorrefinerías de residuos de alimentos; v) biorrefinería de desechos animales; vi) biorrefinerías de aguas residuales; vii) biorrefinerías de plásticos; y viii) biorrefinerías de microalgas (cuadro 12).

Cuadro 12
Diferentes tipos de biorrefinerías de desechos

Tipo de biorrefinería	Principales desechos	Productos potenciales
Biorrefinerías de residuos agrícolas	Residuos y productos secundarios agrícolas (p. ej. hojas, tallos, cortezas, cascara, astillas, desechos, pajillas) que contienen cantidades importantes de biomasa	Metano, hidrógeno, biocombustibles (como el biogás, biohidrógeno y bioetanol), energía y materiales y productos químicos de valor agregado
Biorrefinerías de residuos forestales	Cortezas, aserrín, licor de despulrado, fibras, árboles muertos, desechos de corta y tala, hojas, pajas.	Energía, biocombustibles y de múltiples compuestos químicos y de mayor valor agregado
Biorrefinerías de residuos industriales	Pulpa de aceituna, industria de pulpa y papel, residuos de la industria azucarera y cafetera.	Combustibles como biogás, biohidrógeno, bioetanol y biobutanol. Otro ejemplo los coproductos de los lodos de la industria papelera incluyen ácido láctico, ácidos grasos volátiles, enzimas y celulosa bacterianas que pueden ser posteriormente empleados mediante procesos como hidrólisis y/o fermentación.
Biorrefinerías de residuos de alimentos	Los alimentos no empleados, perdidos o desechados son una fuente muy importante de almidón, celulosa, proteínas, aceites, enzimas, resinas.	Adecuadamente tratados por diferentes tipos de procesos químicos, biológicos o termoquímicos en una biorrefinería pueden convertirse en energía, biocombustibles y diferentes tipos de productos de mayor valor agregado
Biorrefinerías de desechos animales	Grasas, sebo, manteca de cerdo, intestino, sangre, carne, desechos de procesamiento, estiércol, desechos porcinos.	Biodiesel, biogás, electricidad, glicerol,
Biorrefinerías de aguas residuales	Aguas residuales	Producción de hidrógeno y de energía renovable.
Biorrefinerías de residuos plásticos	Residuos plásticos	Combustibles líquidos y carbonilla, electricidad.
Biorrefinerías de microalgas	Uso de aguas residuales como medio de cultivo.	Las microalgas se utilizan ampliamente para la producción de múltiples combustibles y piensos, ya que son una fuente de polisacáridos, poliaminas, pigmentos carotenoides y ácidos grasos poliinsaturados.

Fuente: Nizami et al., (2017).

3. Biorrefinerías en América Latina

En América Latina ya existen algunos ejemplos básicos y otros varios avanzados y exitosos de operación comercial de biorrefinerías en Argentina, Colombia y México. En Argentina se destacan los casos de las biorrefinerías de CitrusVill del grupo Lucci, la biorrefinería de Tigonbu y las Mini Dest de Porta Hermanos:

- *CitrusVill* del grupo Lucci cuenta con la primera planta de tratamiento de efluentes de limón en el mundo, capaz de producir biogás (5.500.000 m³ por temporada) y producir energía eléctrica (3 MW).
- La *Refinería Tigonbu*, a partir de la producción de maíz, implementó un proceso 360 grados de economía circular que le permite obtener etanol, aceite de maíz, burlanda, vinazas, aves de engorde, biogás, energía eléctrica y biofertilizantes.
- Las biorrefinerías del tipo *Mini Dest de Porta Hermanos* son plantas modulares de operación remota que permiten el procesamiento de maíz y la producción de alcohol y alimento animal en los establecimientos agropecuarios, de modo tal que logran agregar valor al recurso en el territorio e integran la agricultura y la ganadería en procesos sostenibles.

Un ejemplo básico de operación de biorrefinerías en Colombia es la iniciativa del *Grupo Agroindustrial Manuelita*, que a partir del cultivo de la caña de azúcar genera productos como el

bioalcohol, acondicionadores de suelo y vende excedentes de electricidad cercanos a los 5 millones KW-h, equivalente al consumo de cerca de 30.000 hogares colombianos.

En México se encuentra *Biofields*, que actúa como una biorrefinería de algas verde azuladas (cianobacterias) para producir etanol, con la enorme ventaja que el cultivo se realiza en tierras marginales y zonas desérticas con régimen casi plenos de radiación solar (328 días/año), lo que trae importantes beneficios sociales y ambientales (Gálvez y Hernández, 2019).

4. Factores para el éxito en una biorrefinería

La operación a cualquier escala (laboratorio, piloto, demostrativa, precomercial o comercial) de una biorrefinería es un proceso complejo que involucra múltiples aspectos técnicos, de capacidad humana y factores económicos, sociales y ambientales que deben correr a la par para garantizar una operación económicamente rentable, eficaz y eficiente. En los aspectos técnicos hoy es necesario como mínimo garantizar:

- Eficiencia y eficacia en la conversión de la biomasa en productos finales energéticos, no energéticos, bioquímicos, electricidad o calor;
- Que no se produzcan xenobióticos;
- Aplicación de principios y procesos de economía circular;
- Uso de métodos de producción acordes con la química verde, las tecnologías limpias y empleo de productos biodegradables (lo que se conoce como las tres reglas de oro de las biorrefinerías).

Nizami et al (2017) recomiendan que previo al desarrollo de cualquier proyecto de biorrefinerías se haga una evaluación de al menos los siguientes siete criterios:

- i) Evaluación de la composición del residuo y su respectiva caracterización.
- ii) Conocimiento completo de la rata de generación de residuos.
- iii) Determinación del contenido energético de cada tipo de residuos.
- iv) Conocimiento de las ventajas, desventajas y limitaciones de la operación de la biorrefinería en un territorio particular.
- v) Evaluación de los beneficios técnicos y económicos de cada una de las tecnologías empleadas en la biorrefinería, para cada región en particular.
- vi) Evaluación del modo de operación de la biorrefinería sencilla o integrada a procesos ya existentes o nuevos procesos.
- vii) Para el caso de biorrefinerías de residuos es recomendable incluir una evaluación del tipo ciclo de vida (LCA) o similar como parte del proceso de análisis de la factibilidad técnica, económica y ambiental de las instalaciones a establecer.

D. El potencial de la biorrefinería de residuos en Colombia

1. La oferta y utilización de residuos

Según el DANE, en 2018 la oferta de residuos sólidos y productos residuales derivados de los procesos de producción, consumo y acumulación ascendió a 24,85 millones de toneladas, correspondiente el 86,0% (21,38 millones de toneladas) a residuos sólidos, y el 14,0% (3,47 millones de toneladas) a productos residuales.

El detalle de la oferta de residuos sólidos en 2018 se presenta en el cuadro 13. Del total de residuos sólidos (21,38 millones de toneladas), 9,74 millones fueron generados por las actividades económicas (45,5%) y 11,6 millones por los hogares (54,5%). El mayor volumen de los residuos de las actividades económicas son residuos de animales y vegetales (7,57 millones); en el caso de los hogares son residuos catalogados como mixtos y comerciales.

Cuadro 13
Oferta de residuos según el tipo de residuo, 2018
(En toneladas)

Tipo de material	Generación de residuos sólidos		Flujos procedentes del resto del mundo	Flujos procedentes del ambiente	Total oferta
	Actividades económicas	Hogares			
Químicos y sanitarios	605 496				605 496
Radiactivos					
Metálicos	12 367	279 362			291 729
No metálicos reciclables	204 404	698 287			902 691
Vehículos y equipos descartados	12 250				12 250
Animales y vegetales	7 568 701				7 568 701
Mixtos y comerciales	801 201	10 662 009			11 463 210
Minerales y tierra	17 133				17 133
De la combustión	73				73
Otros	520 098				520 098
Total residuos sólidos	9 741 722	11 639 658			21 381 380

Fuente: DANE (2020b).

La disposición de residuos sólidos en vertederos controlados (11,2 millones de toneladas) representó el 52,4% del total y todos son residuos catalogados como mixtos y comerciales (cuadro 14). Por su parte, 27,6% (5,9 millones de toneladas) fue utilizado para la cogeneración de energía y otros aprovechamientos, y 12,8% (2,7 millones de toneladas) fue reciclado o tuvo una nueva utilización. Los flujos de residuos hacia el ambiente representaron el 1,0% (0,25 millones de toneladas) del total de la utilización (DANE, 2020b).

En cuanto a los residuos animales y vegetales, representan 35,4% del total (7,6 millones de toneladas) y de ellos una proporción significativa, 77,0% (5,8 millones de toneladas) se utilizan en cogeneración de energía y otro 19,2% (1,4 millones de toneladas) se reciclan o se les da una nueva utilización.

Para efectos de esta propuesta se considera específicamente el empleo de los residuos agrícolas, pecuarios y agroindustriales como fuente de materia prima para procesos de biorrefinería, para la obtención de diversos productos de mayor valor agregado. Es importante destacar que los residuos sólidos urbanos, así como los residuos de los centros de acopio de alimentos, plazas de mercado y residuos de podas forestales de las ciudades, también son fuentes importantes de biomasa residual.

En el sector agrícola tanto los cultivos transitorios (arroz y maíz) como los permanentes (plátano, banano, café, caña de azúcar, panela y maíz) son generadores de biomasa residual, bien sea a través de los residuos del proceso de cosecha o de sus procesos agroindustriales.

Sectores con una amplia capacidad de mejorar el uso de su biomasa residual son la palma de aceite, la caña de azúcar y el sector pecuario, sobre todo en lo relacionado con el sacrificio y faena de sectores como el bovino, caprino y porcino.

Cuadro 14
Utilización de los residuos sólidos en toneladas para el 2018
(En kilogramos)

Tipo de material	Consumo intermedio; gestión de residuos				Otras actividades económicas	Consumo final Hogares	Flujos hacia resto del mundo	Flujos hacia el ambiente	Total utilización
	Actividad de recolección, tratamiento y eliminación de residuos								
	Vertederos controlados	Cogeneración de energía y otros aprovechamientos	Reciclado y nueva utilización	Otros tratamientos					
Químicos y sanitarios				605 496					605 496
Radiactivos									
Metálicos		1	287 307	143	4 278				291 729
No metálicos reciclables		12 060	801 581	42 524	46 526				902 691
Vehículos y equipos descartados				12 250					12 250
Animales y vegetales		5 824 444	1 452 498	2 219	289 540				7 568 701
Mixtos y comerciales	11 210 391						252 819		11 463 210
Minerales y tierra				17 133					17 133
De la combustión				73					73
Otros		64 497	207 356	55 337	192 908				520 098
Total residuos sólidos	11 210 391	5 901 002	2 748 742	735 174	533 252		252 819		21 381 380

Fuente: DANE (2020b).

2. Sectores potenciales

a) Palma de aceite

El cuadro 15 presenta un listado de productos y subproductos que se obtienen en el caso concreto de la palma de aceite a nivel de campo y planta de beneficio. En esta cadena de producción hay un excedente general de subproductos y el índice de utilización de estos subproductos es bajo; por ejemplo, los efluentes de la planta de beneficio y de los racimos de fruto vacíos (RFV). Asimismo, se puede mejorar la aplicación de otros subproductos de las plantas de beneficio. Por su parte, el mejor uso de los residuos de campo, hasta ahora, ha sido eliminarlos como desmenuzado orgánico y fertilizante (Van Dam, 2016).

Cuadro 15
Listado de productos y subproductos obtenidos de la palma de aceite

Producto	Lugar	Tonelada (por tonelada de aceite crudo)	Millones de toneladas a nivel mundial
Aceite de Palma	Planta de beneficio	1	50
Aceite de palmiste	Planta de beneficio	0,10-0,15	5,0
Hojas de palma de aceite	Campo	1,65-2,0	85-100
Raíces cada 20 a 30 años	Campo	0,87	44
Estípites cada 20 a 30 años		0,4-0,67	20-35
Racimos de fruto vacíos	Planta de beneficio	0,32-0,42	16-21
Fibra	Planta de beneficio	0,32-0,5	16-25
Cuesco	Planta de beneficio	0,13-0,4	7-20
Efluente de planta de beneficio	Planta de beneficio	0,35-1,0	18-50
Torta de palmiste	Planta de beneficio	0,06	3

Fuente: Van Dam (2016).

La industria convencional de palma de aceite en Colombia produce en muy baja proporción Glicerina USP como producto de valor agregado, y alguno que otro compuesto con aplicaciones farmacéuticas y cosméticas. Pero no se aprovechan cadenas de economía circular que la podrían llevar a incursionar en mercados de mucho mayor valor, al no tener en cuenta, por ejemplo, la obtención de nuevos productos como biosurfactantes (vía de esterquatos) o biolubricantes (vía metil palmitato) ambos provenientes del aceite de palma o las biorresinas epóxicas (vía del glicerol).

En un estudio elaborado por CENIPALMA se encontró que la biomasa sólida producida en 2013 llegaba a 1.450.339 ton y que la biomasa potencial para nuevos usos era cercana a las 716.752 ton contando en todos los casos con elementos de tusa, fibra, cuesco, ceniza, residuos de tolva y lodos de tricanter (Ramírez, Arévalo, García -Núñez, 2015).

b) Caña de azúcar

Una situación similar ocurre en el cultivo de la caña de azúcar, que se utiliza casi exclusivamente para la obtención de alcohol, desaprovecha la obtención de bioproductos de mayor valor agregado en una biorrefinería, tales como: a) Plataforma de químicos orgánicos por las vías del etilen glicol y del anhídrido acético; b) Obtención de poliestirenos para plásticos, vía polietileno taraftalato; c) Obtención de polímeros para plásticos, vía polihidroxicanoato; d) Obtención de gomas tipo goma xantana; y f) Obtención de plastificantes y estabilizadores para cauchos y plásticos por la vía del ácido succínico.

Cenicaña ha estimado que por cada tonelada de tallo se generan 0.25 toneladas de residuos, a partir de lo cual, para el año 2019 se estimaron 5.4 millones de toneladas de residuos a cosecha RAC y en el año 2020 un valor de 5.5 millones de ton de RAC, estimando en ambos casos una humedad de los residuos cercana al 70% y que se presenta un proceso de cosecha en verde (Lucuara J. 2021. Cenicaña. Comunicación personal).

c) Sector pecuario

El sector pecuario en Colombia también es una fuente importante de generación de residuos provenientes de su proceso de beneficio industrial. Los residuos que se generan en los mataderos son orgánicos aprovechables como la sangre, estiércol, contenido ruminal, uñas, cascos, restos de pelo, huesos, fragmentos de tejidos grasos, musculares y conjuntivos, también hacen parte de residuos no peligrosos como son ordinarios o comunes, reciclables, biodegradables. Los centros de beneficio venden algunos residuos a terceros, pero en general tienen un manejo inadecuado y son vertidos a fuentes hídricas. La mayoría de los residuos generados se disponen de manera inapropiada, un 47% tiene como destino las fuentes hídricas cercanas, el 37% a campo abierto y el restante para consumo humano, demostrando que el aprovechamiento industrial es casi nulo (Triana, 2019).

E. Viabilidad de un proyecto país biorrefinería de residuos agroindustriales, ganaderos y porcícolas

1. Factores habilitantes

a) Capacidad de obtener financiación

Dentro de las acciones que actualmente (octubre 2020) adelanta el Ministerio de Ciencias como mecanismo de implementación de las recomendaciones de la Misión Internacional de Sabios 2019 este proyecto es sujeto de financiación con recursos del orden nacional por las siguientes razones estratégicas: a) está incluido dentro del desafío general "Colombia Productiva. Biodiversa y Equitativa para todos los colombianos"; b) Hace parte de dos de las áreas estratégicas definidas por el Minciencias (área Agro Productivo y Sostenible y Biomasa y Química Verde), y c) forma parte del Desafío: "Biomasa 100%. Más valor Cero Desperdicios".

Dentro de los prospectos de proyectos tiene la flexibilidad de ser considerado como prospecto cercano al mercado y financiable con capital de riesgo (si se acopla el proyecto como una línea adicional dentro de las refinerías ya existentes en el país) o un proyecto nuevo distante del mercado con necesidad de recursos adicionales en investigación básica y aplicada.

El proyecto también puede ser incluido como una Acción Nacionalmente Apropiada de Mitigación -NAMA sectorial para los sectores agrícola y de residuos.

El desarrollo e implementación de un proyecto como el propuesto cumple con objetivos de productividad y eficiencia agrícola y de resiliencia climática (ya que los residuos sólidos del tipo agroindustrial y urbanos al no ser usados eficientemente en cadenas de economía circular o dispuestos inadecuadamente al ambiente) son generadores de gases contaminantes al ambiente.

El proyecto podría obtener cooperación internacional para su desarrollo a través de asociaciones y redes académicas participantes en la segunda fase del proyecto Horizonte 2020 de la Unión Europea o de la Agencia de Cooperación del Gobierno español (AECID) que cuenta con instituciones y redes de trabajo en biomasa, en particular el CIEMAT y las redes académicas de biomasa ligadas al Programa CYTED. Recursos financieros para su desarrollo podrían venir de agencias como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) y agencias de cooperación internacional como GIZ de Alemania o de fondos ambientales.

b) Recursos humanos

Existen por los menos 6 universidades en el país con distintas localizaciones geográficas que cuentan con grupos de investigación, consolidados y nacientes, que pueden contribuir al desarrollo exitoso de una propuesta de biorrefinerías de residuos agroindustriales en el país, dentro de éstos se destacan la Universidad Nacional de Colombia UN, la Universidad Pontificia Bolivariana UPB, la Universidad ICESI, la Francisco de Paula Santander UFPS, la Autónoma de Occidente, la Universidad Santiago de Cali y la Universidad de Cartagena.

El cuadro 16 muestra las universidades, grupos y líneas de investigación en Colombia que cuentan con capital humano adecuado para desarrollar un proyecto de biorrefinerías de residuos.

Cuadro 16
Universidades en Colombia con capacidad para un proyecto de
biorrefinerías de residuos agroindustriales

Universidad	Ciudad	Grupo de Investigación	Línea de Investigación
Universidad Nacional de Colombia	Bogotá	Bioprocesos	
Universidad Nacional de Colombia.	Medellín	Biología Industrial	Aprovechamiento de residuos agroindustriales
Universidad Nacional de Colombia.	Manizales	Grupo de Aprovechamiento de Residuos Grupo de Procesos Químicos Catalíticos y Biotecnológicos	
Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín	Grupo de Investigación en optimización de procesos y uso racional de energía y Biomasa OPUREB	
Universidad ICESI	Cali	Grupo NATURA	Desarrollo de nuevos compuestos materiales y procesos industriales de base química más eficientes y menos contaminantes al medio ambiente
Universidad Autónoma de Occidente	Cali	Departamento de Energética y Mecánica	
Universidad de Cartagena	Cartagena	Grupo Biomasa y Bioprocesos	Diseño de Procesos y Aprovechamiento de Biomosas.
Universidad Francisco de Paula Santander	Pamplona	Grupo GIQUIBA. Grupo de Investigación en Química Básica Aplicada Grupo GICITECA. Grupo de Investigación en Ciencia y Tecnología Agroindustrial	Aprovechamiento industrial de la Biomasa Vegetal o subproductos de la industria Aprovechamiento de Subproductos y residuos Agroindustriales.

Fuente: www.mineducación.gov.co/portal/consultas-publicas/programas.

c) Gobernanza

Este proyecto está alineado con cuatro grandes grupos de políticas gubernamentales: a) Recomendaciones y estrategias para implementar las recomendaciones de la Misión Internacional de Sabios; b) Política de Desarrollo Productivo (CONPES 3866); c) Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022; y d) políticas ambientales y de desarrollo sostenible (CONPES 3918 – ODS, CONPES 3874 -residuos sólidos, CONPES 3934 - crecimiento verde, Estrategia Nacional de Economía Circular, Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible).

Por tratarse de un proyecto de alcance nacional que involucraría directamente a sectores públicos y privados del orden nacional y regional se propone como mecanismo de gobernanza del proyecto un comité interinstitucional conformado por los ministerios de Ciencia Tecnología e Innovación, Agricultura y Desarrollo Rural, y Ambiente y Desarrollo Sostenible, así como por Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), la Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC), Universidades con grupos de Investigación en la materia, el sector privado y gremios de la producción involucrados.

d) Capacidad de involucrar al sector privado

Un proyecto de biorrefinerías de residuos agroindustriales debe necesariamente involucrar al sector privado. Dos consideraciones son importantes: la fuente de la materia prima y la localización y logística del proyecto para disponer adecuadamente la biomasa.

El análisis de las principales fuentes de biomasa agroindustrial residual en el país y su potencial para ser usado como materia prima de una biorrefinería muestra que los residuos podrían provenir principalmente de los cultivos de caña de azúcar, palma de aceite, plátano, banano, café o de los residuos agroindustriales provenientes del procesamiento de industrias cárnicas o porcícolas.

La industria de la caña de azúcar cuenta con cuatro núcleos en el país, está asociada en torno a ASOCAÑA y tiene el Centro de Investigación CENICAÑA. La industria de la palma de aceite cuenta con nueve núcleos palmeros, está asociada en torno a FEDEPALMA y cuenta con su propio Centro de Investigación CENIPALMA. La industria del café está asociada en torno a la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia FEDERACAFE y cuenta con CENICAFE como centro de investigación. La industria del banano está asociada en torno a AUGURA Asociación de Bananeros de Colombia y cuenta con CENIBANANO como centro de investigaciones. La Industria del plátano cuenta la Federación Colombia de Productores de Plátano de Colombia (FEDEPLACOL). La industria cárnica se encuentra afilada en torno a la Federación Nacional de Ganaderos de Colombia (FEDEGAN) y la industria porcícola en torno a la Asociación Colombiana de Porcicultores.

e) Alineación con el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022

El proyecto está alineado con el Plan Nacional de Desarrollo 2018 -2022 particularmente con los objetivos 1 y 3 del Pacto por la Sostenibilidad.

- Objetivo 1: Actividades productivas comprometidas con la sostenibilidad y la mitigación del cambio climático y Objetivo 3. Economía circular
- Con el pacto V por la Ciencia la Tecnología y la Innovación (construcción de una bioeconomía nacional) y con las grandes apuestas sectoriales del Plan generando nuevas oportunidades económicas con la Bioeconomía.

2. Impacto

a) Aporte a los ODS

El proyecto hace un aporte directo a los ODS 2 Buena salud, ODS 6 Agua potable y saneamiento, ODS 11 Ciudades y comunidades sostenibles, ODS 12 consumo responsable, ODS 13 Lucha contra el cambio climático.

b) Capacidad de lograr desarrollo territorial

El alto contenido de agua de la biomasa procedente de residuos agropecuarios y agroindustriales generaría altos costos por su transporte y una compleja logística para disponer, recolectar, acopiar y tratar la biomasa. Por eso es indispensable que la valorización se efectúe en sitios cercanos o circundantes a donde se encuentra la biomasa disponible. Por lo tanto, las biorrefinerías de residuos agroindustriales deberían instalarse en sitios cercanos a las fuentes productoras de biomasa, cerca de clústeres productivos y/o universidades y centros de investigación con capacidad para apoyar las demandas de I&D que se generen en el proceso. En ese sentido se proponen las siguientes biorrefinerías:

- *Biorrefinería de residuos agroindustriales de café* en el Eje Cafetero (Risaralda, Caldas, Quindío), en donde se concentra la mayor parte de producción cafetera del país.
- *Biorrefinería de residuos agroindustriales de caña de azúcar* en el Departamento del Valle del Cauca, eje de uno de los cuatro núcleos azucareros del país, cercano logísticamente al

puerto de Buenaventura, con un clúster de caña de azúcar y con Universidades y Centros de Investigación con grupos activos que pueden aportar al desarrollo de la propuesta.

- *Biorrefinería de residuos agroindustriales de palma de aceite* localizada en uno de los nueve núcleos palmeros del país, específicamente en aquellos localizados cerca a la costa Atlántica del país cercanos logísticamente al puerto de Barranquilla y con universidades como la Universidad de Cartagena con grupos de investigación en el área.
- *Biorrefinería de residuos agroindustriales de plátano* con posible localización en las zonas de Urabá y noreste de Antioquia, Centro y Llanos Orientales y Sur del Cauca.
- *Biorrefinería de residuos agroindustriales de la industria cárnica y porcina* localizada cerca de alguna de las grandes ciudades que posee plantas industriales de procesamiento cárnica y/o porcícola.

c) Aporte del proyecto al proceso de recuperación postpandemia de COVID-19

Un proyecto de esta naturaleza en su primera etapa debe provocar movilización de recursos humanos altamente capacitados en múltiples áreas del conocimiento, sobre todo en ciencias de la vida e ingenierías (hacia las regiones donde se va a desarrollar la planeación, estructuración y realización de estudios de factibilidad técnica y económica de las propuestas). La movilización de recursos financieros y de recursos humanos ayudara a acelerar el proceso de recuperación pospandemia COVID-19, principalmente en los territorios, donde con más urgencia se requiere unir esfuerzos del orden nacional y regional.

d) Grado de convergencia tecnológica

Para realizar un proyecto país de biorrefinerías de residuos agropecuarios y agroindustriales será necesaria la combinación de tecnologías; por ejemplo, sistemas GPS y GIS para geolocalizar la biomasa total disponible en el territorio, herramientas de la cuarta revolución industrial como la Imágenes hiperespectrales + Multiespectrales adaptadas a sensores y drónes para determinar la biomasa útil en el territorio, y herramientas de Inteligencia artificial y analítica de datos para determinar la mejor ubicación posible de los sitios seleccionados para la logística de acopio de la Biomasa en un territorio particular (Velásquez, 2020).

V. Biomasa con fines energéticos

A. Visión estratégica

Se propone un proyecto país biomasa con fines energéticos, con el objetivo de contribuir a implementar las recomendaciones de la Misión Internacional de Sabios 2019 respecto al uso de la biomasa con fines energéticos.

Se sugiere que el proyecto se focalice en los departamentos colombianos de Amazonas, Arauca, Caquetá, Choco, Guaviare y Putumayo, los cuales poseen simultáneamente tres características: un Índice Departamental de Competitividad bajo/medio bajo (IDIC 2019), no cuentan con proyectos de bioenergía en curso y tienen una alta riqueza en biomasa.

Las metas de la misión de sabios a las que puede contribuir el proyecto serían: i) aumentar del 9 al 15% el uso de la biomasa sólida y líquida en la producción de energía; y ii) crear, al 2030, cinco empresas de base tecnológica para la transición energética.

B. Antecedentes

La matriz de generación energética nacional está compuesta (2019) por 68,3% recurso hídrico, 30,7% de fuente térmica y un porcentaje muy pequeño (1,0%) proveniente de fuentes no convencionales. El consumo de energía eléctrica anual del país está cerca de alcanzar los 70.000 GWh/año y según la UPME para el 2030 se espera un incremento promedio del 2% anual, teniendo en cuenta las expectativas de dinámica del sector industrial, la electrificación de la economía y un incremento en el número de vehículos eléctricos, que para ese año se estima alcancen los 400.000 en circulación en las vías colombianas (Arango, 2019).

El Gobierno Nacional tiene como objetivos instalar 1.500MW de Fuentes Renovables No Convencionales de Energía (FRNC) para finales del año 2022, y para el 2030 garantizar que un 10% de la matriz energética este conformada por fuentes del tipo FRNC. Con este propósito se

encontraban al 2019 inscritos en la UPME 392 proyectos de energía solar, 19 de energía eólica y 14 de biomasa. A octubre de 2020 los proyectos de biomasa aumentaron a 43 (UPME, 2020). Además, la Misión Internacional de Sabios 2019 le recomendó al Gobierno Nacional aumentar del 9% al 15% la participación de la Biomasa sólida y líquida en la producción de energía y crear para las 2030 cinco empresas de transición energética (Misión Internacional de Sabios, 2019).

Los proyectos que usan biomasa como materia prima emplean diferentes tipos de tecnología, tienen diversos tipos de generación, se encuentran en diferente grado de inversión y tienen una localización geográfica diversa. El 72,0% de los proyectos emplean residuos agrícolas (39,5%), bagazo (18,6%) y biogás (14,9%), mientras que el 28% restante emplean la biomasa como sigue: fuentes no definidas (11,62%), residuos sólidos urbanos (7,0%), residuos pecuarios (4,7%), vapor y calor residual (2,2% cada una de ellas). El 60,5 % de los proyectos (26 proyectos) de biomasa son del tipo autogeneración, el 25,6% corresponde a proyectos de cogeneración (11 proyectos) y el 14,0% a proyectos de generación (6 proyectos). El 62,8 % de los proyectos de biomasa se encuentran actualmente (noviembre 2020) en etapa de inversión; el 23,2% en etapa de preinversión, el 9,3% de diferentes estados y el 4,7% en etapa de construcción (UPME, 2020).

Según su localización geográfica los proyectos de biomasa están ubicados principalmente en los Departamentos de Meta, Santander y Vichada (15 proyectos en total, cinco en cada departamento); le siguen en su orden el Valle del Cauca con nueve proyectos, Cauca con tres (3) proyectos; los departamentos de Antioquía, Casanare, Cundinamarca, Magdalena, Tolima y Vaupés con dos (2) proyectos cada uno de ellos y Atlántico, Bolívar, Norte de Santander y Guainía con un (1) proyecto en cada departamento (UPME 2020).

Como mecanismo para cerrar brechas territoriales de generación de energía y garantizar inclusión y desarrollo socio económico a mediano y largo plazo se propone la conformación inicial de un Programa Nacional Piloto de Biomasa con fines energéticos para los Departamentos de Amazonas, Arauca, Caquetá, Choco, Guaviare y Putumayo donde hoy no se usa la Biomasa como fuente de generación de energía renovables no convencionales (ERNC). La propuesta que se presenta describe los factores habilitantes y los impactos potenciales que tendría la ejecución de un proyecto de estas características en dichos territorios.

C. Marco regulatorio de energías renovables no convencionales (2014 -2020)

Para promover el desarrollo, integración y utilización de las fuentes no convencionales de energía en el sistema energético nacional y lograr la participación de estas en las zonas no interconectadas, el gobierno nacional expidió la ley 1715 de 2014, que regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. Esta ley también busca el aumento de la eficiencia energética y la promoción de la gestión eficiente de la energía en respuesta a la demanda. En virtud de esta ley se han expedido entre el año 2014 y 2020 los correspondientes actos administrativos entre leyes, resoluciones y decretos para regular este sector.

El cuadro 17 resume los decretos y resoluciones que en virtud de la Ley 1715 de 2014 regulan materias tanto técnicas (potencia máxima para autogeneración a pequeña y gran escala, expansión de cobertura, respuesta a demanda, entrega de excedentes), como de apoyo al sector (beneficios ambientales, incentivos, exclusión del Impuesto al Valor Agregado IVA y exención de gravamen arancelario) para las energías renovables no convencionales (ERNC) en Colombia.

Cuadro 17
Marco normativo de las energías renovables no convencionales en Colombia según
Ley 1715 de 2014 (2014-2019)

Tipo de norma entidad	Número de norma	Fecha de expedición	Objetivo
Decreto UPME	829	2020	UPME única entidad encargada de evaluar y certificar proyectos de ERNC sin necesidad de aval de ANLA.
Ley	1955	2019/05/25	El artículo 174 del PND modifica el artículo 11 de la Ley 1715 de 2014.
Resolución UPME	703	2018/12/14	Procedimiento y requisitos para obtener certificación de aval de proyectos de energía del tipo de fuente no convencional (FNCE), para obtener beneficio de exclusión IVA y exención gravamen arancelario
Resolución Min ambiente	1303	2018/06/13	Modificación resolución 1283 de 2016
Resolución Min ambiente	1312	2016/08/16	Términos de referencia para elaborar EIA para trámite de licencia ambiental de proyectos de fuentes de energía eólica continental.
Resolución Min ambiente	1283	2016/08/16	Procedimiento y requisitos para expedir certificados de beneficio ambiental por nuevas inversiones en FNCER con fines de beneficios tributarios
Decreto. Min Minas	2143	2015/11/04	Definición de alineamientos para aplicación de incentivos de Ley 1715 de 2014
Resolución UPME. MinMinas	0281	2015/06/05	Definición de límite máximo de potencia para autogeneración a pequeña escala
Resolución GREG MinMinas	024	2015/03/13	Regulación de actividad de autogeneración a gran escala en el SIN
Decreto. MinMinas	1623	2015/08/11	Lineamientos de política para expansión de cobertura de energía eléctrica en el SIN y en ZNI
Decreto. MinMinas	2492	2014/12/03	Implementación de mecanismo de respuesta a la demanda
Decreto	2469	2014/12/02	Lineamientos de política energética en entrega de excedentes de autogeneración.

Fuente: Unidad de Planeación Minero-Energética. UPME. Ministerio de Minas. Colombia

D. Redes iberoamericanas de biomasa con fines energéticos

Existen en América Latina y en algunos países en particular, un grupo de redes de trabajo y colaboración en el uso de la biomasa con fines energéticos que buscan potenciar los esfuerzos de universidades, institutos y centros de investigación que trabajan en torno al uso de la biomasa con fines energéticos. Dentro de las redes más significativas pueden mencionarse las siguientes (Velásquez, 2020; Peralta, 2020; Silva, 2020):

1. Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural -REBIBIR

Está conformada por universidades, centros de investigación, entidades de la administración pública y empresas, que sincronizan esfuerzos para la innovación científica y el desarrollo tecnológico, como base para la promoción de “sistemas bio-energéticos térmicos” integralmente más sustentables a nivel territorial.

REBIBIR Está conformada por universidades y grupos de investigación de Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, España, México, Paraguay, Perú; actualmente representados en un total de 17 grupos de investigación y 108 investigadores.

El trabajo de la Red se basa en 4 pilares temáticos que constituyen las cadenas de valorización de biomasa, y que tienen que ver con las áreas en las que los distintos grupos de la Red tienen experiencia (CYTED, 2020):

- Recursos: metodologías, herramientas, procedimientos vinculados con relevamiento de biomasa sólida; cuantificación de existencias; caracterización fisicoquímica; estimación de potencial bio-energético; criterios de restricción de uso de biomasa.
- Tecnologías: relevamiento de tipos de productos, desarrollos tecnológicos o innovaciones para el acondicionamiento de recursos de biomasa y para aprovechamiento energético térmico; esquemas de construcción; técnicas de estimación de rendimientos; procedimientos de diseño; rutinas y modelos de simulación.
- Mecanismos de participación y transferencia (MPT): identificación de técnicas y estrategias participativas exitosas para la puesta en marcha de esquemas de inclusión; enfoques de equidad de género; mecanismos de accesibilidad y apropiación; experiencias de adaptabilidad al usuario y contexto territorial.
- Políticas, marcos institucionales y esquemas de financiamiento (PIEF): marcos normativos, mecanismos de promoción e inclusión; figuras cooperativas y asociativas; ordenamientos institucionales; pautas de integración vertical y horizontal.

2. Red de optimización de los procesos de extracción de biomasa sólida para uso energético-IBEROMASA

Es una red auspiciada por CYTED que involucra a académicos, investigadores, empresas y representantes de las administraciones públicas que estudian el posible uso de la biomasa generada en el medio agroforestal como fuente de energía en Latinoamérica, con el objetivo de orientar mejor las políticas de promoción del uso de este recurso como herramienta de desarrollo dentro de una gestión sostenible (CYTED, 2020b).

Actualmente está conformada por grupos de investigación y universidades de Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, España, Guatemala, México, Nicaragua, Paraguay, Perú, Portugal, República Dominicana, Uruguay; con un total de 35 grupos y 177 investigadores.

La red trabaja a través de Talleres de formación, investigación y transferencia y de estancias multilaterales, resultado de estas actividades se destacan a la fecha los siguientes logros (CYTED, 2020b): Taller 1: Sistemas de cuantificación e inventario de recursos biomásicos agrícola y forestal para uso energético; Taller 2: Análisis de las dificultades que suponen la movilización de biomasa agrícola y forestal para uso energético, Taller 3: Análisis de tecnologías de aprovechamiento de la biomasa para uso energético.

3. Red Mexicana de Bioenergía REMBIO

Es una organización no gubernamental, sin fines de lucro que se constituyó en el año 2006 con el objetivo de promover e impulsar el uso sustentable y eficiente de la bioenergía en México y contribuir al suministro de fuentes y servicios sostenibles equitativos y accesibles de bioenergía en apoyo al desarrollo sustentable, la seguridad energética y la mitigación del cambio climático. Las áreas estratégicas en las que REMBIO enfoca su trabajo (REMBIO, 2020): biogas, estufas de leña, biocombustibles sólidos, biocombustibles líquidos, bioenergía y cambio climático.

4. Red Colombiana de Energía de la Biomasa - RedBiocol

Esta red busca contribuir al desarrollo sostenible de la sociedad colombiana mediante la promoción del aprovechamiento energético de residuos orgánicos con acciones de articulación, gestión del conocimiento e incidencia socio política y ambiental en los territorios. El trabajo en equipo iniciado por las tres organizaciones fundadoras (Fundación UTA, Terrazonet, Fundación Cipav) hace más de siete años fue el punto de partida para la vinculación de las 65 organizaciones que actualmente hacen parte de la red, organizadas en cinco nodos regionales (RedBiocol, 2020): , (Rincon M.M 2020):

a) Nodo Santanderes-Boyacá-Cundinamarca-Tolima; b) Nodo Antioquia; c) Nodo Meta-Casanare-Vichada-Guainía-Amazonas; d) Nodo Valle del Cauca-Nariño-Cauca, Eje Cafetero; y e) Nodo Jóvenes de la RedBiocol.

La red tiene dentro de sus funciones y servicios el diseño e instalación de sistemas de biodigestión, monitoreo sistemas de biodigestión, servicios ecosistémicos, aprovechamiento energético del biogás, programas comunitarios de aprovechamiento de bioles, asesoría y apoyo a programas de economía solidaria, programa de capacitación de promotores certificados en manejo e instalación de biodigestores, censo de biodigestores y pasantías.

5. Plataforma Tecnológica y de Innovación Española Biomasa para la Bioeconomía – BIOPLAT

Es un grupo de excelencia y coordinación técnico-científico sectorial, compuesto por los todos los actores relevantes del sector de la biomasa en España entendida en su sentido más amplio, tanto en lo referente a recursos biomásicos (todo tipo de materia orgánica valorizable), tecnologías de transformación y aplicaciones (bioenergía, bioproductos, biomateriales y bioquímicos), como a los aspectos de sostenibilidad y marco regulatorio. Tiene como objetivo proporcionar un marco en que todos los sectores implicados en el desarrollo de la biomasa trabajen conjunta y coordinadamente para conseguir que la implantación comercial de la bioenergía y los bioproductos en España disfruten de un crecimiento continuo, de forma competitiva y sostenible (Bioplat, 2020).

BIOPLAT abarca actividades en el ámbito de la bioenergía y los bioproductos, entendidos en su sentido más amplio, tanto en lo referente a materia orgánica valorizable (p. ej. residuos y cultivos energéticos), tecnologías de transformación y aplicaciones (p. ej. generación de energía térmica y eléctrica, biocarburantes, biogás y bioproductos), como a los aspectos de sostenibilidad y marco regulatorio. Asimismo, BIOPLAT comprende los impactos socioeconómicos y medioambientales que implica el desarrollo del sector de la biomasa en España, tales como generación de empleo y desarrollo rural, bioeconomía, economía circular y mitigación del cambio climático.

E. Viabilidad de un proyecto país biomasa con fines energéticos

1. Factores habilitantes

a) Capacidad de obtener financiación

Dentro de la Visión "*Bioeconomía: Una apuesta de País*" que actualmente desarrolla el gobierno nacional en cabeza del Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación, como un mecanismo de implementación de las recomendaciones de la Misión Internacional de Sabios 2019 un Programa Nacional de Biomasa con fines energéticos, como el propuesto se encuentra estratégicamente localizado en el Reto Biomasa 100% - Cero Desperdicios y el Área Estratégica Biomasa y Química Verde.

La implementación de este Programa específicamente pretende dar cumplimiento a dos de las recomendaciones de la Misión Internacional de Sabios, a saber: a) aumentar del 9 al 15% el uso de la biomasa sólida y líquida en la producción de energía al 2030 y b) Crear a las 2030 cinco empresas de base tecnológica para la transición energética.

El Programa Nacional de Biomasa con fines energéticos debe ser visto como un proyecto país y puede recibir financiación nacional a través de convocatorias concursales individuales o conjuntas del Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación, Ministerio de Minas y Energía y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Un proyecto de Bioenergía con énfasis en uno o varios territorios puede recibir financiación de la Financiera de Desarrollo Territorial FINDETER que es el Banco de Desarrollo estatal, aliado de las regiones para planear, estructurar, asistir técnicamente y financiar los proyectos de infraestructura del país o puede obtener financiación vía regalías si se presenta como un proyecto de interés entre varios territorios por la vía de recursos de las Regiones Autónomas de Planificación RAP.

El proyecto puede ser financiado a nivel de banca privada vía financiación bonos verdes pues es un proyecto que claramente ayuda a reducir las consecuencias negativas del cambio climático, específicamente en el área de eficiencia energética y energías renovables (bancos nacionales como Davivienda y/o BBVA filial Colombia) ya ofrecen financiación para este tipo de proyectos.

La financiación internacional puede obtenerse a través de instituciones como el IFC (Corporación Financiera Internacional) del Banco Mundial o los Fondos de Adaptación o el Fondo Verde del Sistema de Naciones Unidas dentro del área estrategias verdes de desarrollo bajo en emisiones y adaptado al cambio climático que específicamente contempla el área de biomasa.

b) Recursos humanos

Las mismas instituciones académicas y de investigación que formarían parte del proyecto de biorrefinerías, más las instituciones pertinentes relacionadas con los temas de energía y biomasa (en particular la Universidad Pontificia Bolivariana y la Universidad Autónoma de Occidente, con grupos de investigación en Biomasa y energía) pueden constituirse en la base académica y científica de los recursos humanos calificados para este proyecto de Biomasa. El cuadro 18 muestra las instituciones colombianas con capacidades para proyectos de biorrefinerías/bioenergía.

Cuadro 18
Universidades en Colombia con capacidad para un proyecto de Biorrefinerías/Bioenergía

Universidad	Ciudad	Grupo de Investigación	Línea de Investigación
Universidad Nacional de Colombia	Bogotá	Bioprocesos	
Universidad Nacional de Colombia.	Medellín	Biología Industrial	Aprovechamiento de residuos agroindustriales
Universidad Nacional de Colombia.	Manizales	Grupo de Aprovechamiento de Residuos Grupo de Procesos Químicos Catalíticos y Biotecnológicos	
Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín	Grupo de Investigación en optimización de procesos y uso racional de energía y Biomasa	
Universidad ICESI	Cali	OPUREB Grupo NATURA	Desarrollo de nuevos compuestos materiales y procesos industriales de base química más eficientes y menos contaminantes al medio ambiente
Universidad Autónoma de Occidente	Cali	Departamento de Energética y Mecánica	
Universidad de Cartagena	Cartagena	Grupo Biomasa y Bioprocesos	Diseño de Procesos y Aprovechamiento de Biomasa.
Universidad Francisco de Paula Santander	Pamplona	Grupo GIQUIBA. Grupo de Investigación en Química Básica Aplicada Grupo GICITECA. Grupo de Investigación en Ciencia y Tecnología Agroindustrial	Aprovechamiento industrial de la Biomasa Vegetal o subproductos de la industria Aprovechamiento de Subproductos y residuos Agroindustriales.

Fuente: www.mineducación.gov.co/portal/consultas-publicas/programas.

También será importante capitalizar los esfuerzos previos que han hecho redes como la Red Colombiana de Biomasa RedBiocol (2012), para integrarlas y ganar sus experiencias en este esfuerzo nacional y traer al Programa Nacional a todas las instituciones que participan por Colombia en redes de colaboración internacional en materia de Biomasa y Energía tales como REBIBIR, IBEROMASA y su red matriz CYTED.

c) Gobernanza

Un proyecto país de biomasa con fines energéticos para Colombia se alinea con las Políticas de CTel, con las recomendaciones y estrategias para Implementar las recomendaciones de la Misión Internacional de Sabios y con las políticas ambientales y de desarrollo productivo del país, tales como: CONPES 3866 (Políticas de Desarrollo Productivo), CONPES 3918 (ODS); CONPES 3934 (Crecimiento Verde); Estrategia Nacional de Economía Circular ENEC; Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible, y Plan Nacional de Desarrollo. Plan 2018-2022.

La gobernanza del proyecto puede darse de manera conjunta entre el Ministerio de Minas y Energía y el Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación con un Comité Técnico constituido al menos por las siguientes instituciones: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Corporaciones Autónomas Regionales CAR, Universidades con grupos de Investigación en la materia, y Sector Privado involucrado regional (Cámaras de Comercio, gremios).

d) Capacidad de involucrar al sector privado

La información prevista por la Unidad de Planeación Minero-Energética UPME del Ministerio de Minas y Energía indica que a noviembre del 2020 el 62.8 % de los proyectos de Biomasa con fines energéticos se encuentra en etapa de inversión, lo que significa que ya existe capital privado invirtiendo en esta clase de proyectos.

Se debe entonces garantizar que los mecanismos previstos en la ley para apoyar este tipo de proyectos funcionen y se apliquen correctamente (vrg resolución 703/14 sobre exclusión de IVA y gravamen arancelario, resolución 1312/16 términos de referencia de los estudios de impacto ambiental y la 1283/16 sobre certificados de beneficios ambientales).

Un apoyo particular puede ser necesario para alentar aún más al sector privado a participar en este tipo de proyectos mediante mecanismos de estímulo a la generación y estructuración de proyectos de Alianzas Público-Privadas (APP) para este programa.

Alineación con el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022. Un Programa Nacional de Biomasa con fines energéticos se encuentra alineado con tres de los pactos del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022, a saber: Pacto IV: Pacto por la Sostenibilidad. Producir conservando y conservar produciendo; Pacto VIII: Pacto por los Servicios Públicos. Agua y energía para promover la competitividad y el bienestar de todos; Pacto IX: Pacto Por los recursos minero-energéticos para el crecimiento sostenible, Línea "Seguridad Energética".

2. Impactos potenciales

a) Aporte a los ODS

Un programa nacional de Biomasa con fines energéticos aporta directamente al ODS 7 Energía Accesible y No Contaminante, al ODS 9 Industria Innovación e Infraestructura, al ODS 12 Producción y Consumo Responsable y al ODS 13 Acción por el Clima, en este último punto en particular colaborando con el cumplimiento de las metas país en materia de reducción de gases de efecto invernadero.

b) Desarrollo territorial

La Implementación de un Programa Nacional de Biomasa con fines energéticos en particular en aquellas regiones o departamentos con bajo índice de competitividad (IDIC 2019) y donde la Biomasa es abundante y escasamente valorizada in situ será un factor de desarrollo económico, social y ambiental para territorios como (Amazonas, Arauca, Caquetá, Choco, Guaviare y Putumayo) que generara empleo local y concentrará y alineará los esfuerzos de la academia y el sector privado para llevar energía a regiones tradicionalmente apartadas de las grandes capitales del país.

c) Aporte del proyecto al proceso de recuperación PostCovid19 de Colombia

En un escenario pospandemia de COVID-19 Colombia necesita potenciar el empleo y la generación de valor en los territorios buscando crear empleo local y desarrollo económico y social inclusivo para estas regiones, sobre todo aquellas que se encuentran en la periferia del país en las zonas limítrofes con Panamá, Brasil, Ecuador y Perú.

Un Programa Nacional de Biomasa con fines energéticos focalizado en los territorios antes mencionados fortalecerá la cohesión entre los actores locales, apoyará y comprometerá los esfuerzos de aquellas universidades y centros de investigación que hacen presencia en el territorio y entregará energía eléctrica renovable y limpia a regiones tradicionalmente olvidadas del país.

d) Grado de convergencia tecnológica del proyecto

El proyecto para un desempeño exitoso deberá al menos contar con:

- Localización Biomasa regional mediante tecnologías como GPS y Sistemas de Información Geográfica GIS.
- Cuantificación de la Biomasa mediante tecnologías como NDVI.
- Evaluación y actualización de los potenciales energéticos de las biomásas presentes en el territorio.

Para realizar este programa será condición necesaria contar con una hoja de ruta para el desarrollo de la Biomasa nacional con fines energéticos que pasa al menos por los siguientes elementos básicos:

- Geolocalizar la Biomasa total disponible en el territorio. Lo que se logra con el apoyo de sistemas como Global Positioning Systems GPS y Sistemas de Información Geográfica GIS.
- Determinar la Biomasa útil en el territorio mediante herramientas de la cuarta revolución industrial como la Imágenes hiperespectrales + Multiespectrales adoptadas a sensores y drónes (caso de la biomasa agrícola).
- Actualizar los mapas nacionales de potencial energético de la Biomasa.

VI. Autonomía farmacéutica

A. Visión estratégica

Se propone crear y desarrollar un proyecto país autonomía farmacéutica basado en tres plataformas tecnológicas que enfrenten las principales causas de morbilidad y mortalidad en el país y que sean concordantes con las recomendaciones de la Misión Internacional de Sabios 2019.

Como objetivos específicos se proponen:

- Crear y desarrollar una Plataforma tecnológica de fitoterapéuticos-biológicos para enfrentar la principal causa de morbilidad mortalidad en el país, en especial enfermedades del sistema circulatorio (isquémicas-cerebro, vasculares e hipertensivas) y las enfermedades tropicales prevalentes (malaria, chagas, dengue, zika y chikunguña).
- Crear y desarrollar una Plataforma tecnológica de insumos médicos y equipamiento biomédico útil para enfrentar las causas primarias y secundarias de morbilidad mortalidad en el país. Esta incluirá reactivos de diagnóstico, kits de diagnóstico y preparaciones clínicas magistrales.
- Crear y desarrollar una Plataforma tecnológica de terapias avanzadas que incluya bancos de células y tejidos, células madre, terapia génica, farmacogenética y farmacogenómica, para tratar enfermedades raras o huérfanas de prevalencia en el país.

Como metas del proyecto se propone:

- Díez (10) productos fitoterapéuticos o biológicos al 2030.
- Una (1) Industria Nacional de Insumos Médicos y Equipamiento Biomédico al 2030.
- Crear tres empresas de Terapias avanzadas en el país al 2030.

B. Antecedentes

Los focos de *Biotecnología, bioeconomía y medio ambiente* y de *Ciencias de la vida y de la salud* de la Misión Internacional de Sabios 2019 de Colombia le plantearon al país tomar acciones para: i) fomentar la producción y el desarrollo de productos innovadores (medicamentos de síntesis química y biológicos, fito-medicamentos, terapias avanzadas, dispositivos médicos) de interés en salud pública, evitando la dependencia tecnológica del país; ii) promover la producción de productos magistrales en hospitales e institutos públicos; y iii) crear un marco regulatorio para la fabricación local y validación de reactivos y kits de diagnóstico y d) Desarrollar capacidades para producir medicamentos esenciales para la salud pública.

Para gestionar estratégicamente, aunar, dirigir y coordinar voluntades de todos los actores involucrados en cumplir dichas tareas, se propone el establecimiento de un *proyecto país de autonomía farmacéutica*, mediado por la implementación de tres plataformas tecnológicas de fitoterapéuticos y biológicos, insumos médicos y equipamiento biomédico, y terapias avanzadas enfocadas en las principales causas de morbilidad y mortalidad en el país.

La operación de estas plataformas se verá potenciada por el trabajo de priorización y estrategia con que cuenta el sector farmacéutico colombiano al 2032, la existencia de tres clústeres farmacéuticos regionales (Atlántico, Santander y Bogotá), la capacidad de infraestructura y recursos humanos generada por el estado con el apoyo del sector privado con motivo de la pandemia del SARSCoV-2 causante de la enfermedad del COVID-19 y las acciones de cooperación internacional que adelanta ONUDI y el Gobierno Suizo.

Esta estrategia de plataformas tecnológicas farmacéuticas permitirá avanzar en el camino del cumplimiento de las metas que la Misión Internacional de Sabios 2019 le planteó al país, a saber: i) para el 2030 duplicar el número de medicamentos esenciales para el país; ii) para el 2030 contar en el mercado con al menos diez medicamentos fitoterapéuticos o productos biológicos desarrollados en el país que atiendan las principales enfermedades de salud pública en Colombia; iii) para el 2030 triplicar las empresas de terapias avanzadas en Colombia; y para el 2030 desarrollar una industria de instrumentación médica adaptada a las condiciones locales.

C. El concepto de autonomía farmacéutica

1. Antecedentes

El concepto de autonomía en el campo sanitario —ligado tradicionalmente a la aplicación de principios y valores éticos, a la ética de la relación entre paciente y sistema sanitario, a la autonomía del farmacéutico como profesional dentro de un equipo de salud, a los problemas éticos de la atención farmacéutica— incluye consideraciones relacionadas con aspectos tales como: i) los conflictos de interés entre el profesional de la salud y la industria farmacéutica (marketing farmacéutico); ii) códigos de transparencia y ética de la industria farmacéutica local y global; y iii) los vínculos entre la academia y el capital privado de la industria farmacéutica.

La pandemia de COVID-19 a colocado una nueva área de análisis frente al concepto de la autonomía en el sector farmacéutico, relacionada con la autonomía de los estados y su capacidad para producir en un mundo globalizado e interdependiente los ingredientes farmacéuticos activos que mantengan la autonomía estratégica de los estados o de los bloques económicos frente a medicamentos, insumos y equipos médicos para controlar y gestionar eficazmente la pandemia del COVID-19. Un ejemplo de este panorama a nivel internacional lo da el Consejo Farmacéutico de la Unión Europea que llama la atención sobre la "dependencia de las importaciones de APIs y materias

primas para producir determinados medicamentos esenciales que puedan amenazar la autonomía estratégica de la UE”.

2. Autonomía farmacéutica en Colombia

a) Definición de autonomía farmacéutica en Colombia

El tema de la autonomía farmacéutica en Colombia tomó un auge inusitado durante 2020, dada la limitada capacidad de respuesta que el estado y sus instituciones tienen para gestionar de manera oportuna los enormes requerimientos de atención en salud que plantea la actual pandemia global del virus SARS-Cov-2 causante de la enfermedad del COVID-19. Desde todos los sectores de la sociedad se le reclama al estado una mayor capacidad y eficiencia para contener la pandemia, pero no se tiene en cuenta que ésta capacidad no aparece de la noche a la mañana, sino que se genera, acumula y trasmite a la sociedad en el largo plazo, cuando un cumulo coordinado de acciones en políticas públicas, inversiones, infraestructura, talento humano, marcos regulatorios, entre otros, se han dirigido en el sentido de considerar a la salud como un bien público que favorezca sin distingo a cada una de los colombianos, caso que no parece ser el Colombiano.

Ante esta situación y como una iniciativa muy plausible del Congreso de la República se llevó a cabo en el mes de mayo del 2020 un “Foro Nacional sobre Seguridad Farmacéutica” que buscó reunir a todos los actores y sectores de la sociedad para presentar sus puntos de vista y proponer soluciones que a largo plazo garanticen en una etapa pospandemia de COVID-19 una seguridad farmacéutica nacional (Agudelo y Eljach, 2020).

Para varios de los participantes de este foro la autonomía/seguridad farmacéutica se entiende como una “capacidad para” enfrentar retos de salud (Torres, 2020); proveer bienes públicos en salud (Montoya y Vaca, 2020); entender el contexto y tomar medidas (Gaviria, 2020) y como la “certeza” de poder tomar sus propias decisiones (García, 2020) en materia farmacéutica.

b) Razones para la ausencia de autonomía farmacéutica

Varias son las razones que presentan los especialistas para que el país no sea hoy autónomo en materia farmacéutica y éstas tienen varias fuentes, dentro de las que cabe mencionar; falla estructural del modelo de salud, ausencia o fallas en las políticas públicas del sector, falta de financiación adecuada, entre otros.

Algunos indican que existe una falla clásica del sistema de bienes públicos internacionales agravados en la pandemia del COVID-19 por el tiempo y la capacidad para asimilar el conocimiento y convertirlo en producción local en los países y al hecho que la salud global se le dejó a las leyes del mercado, con el agravante de que estas muestran un mercado concentrado (Forero, 2020). En el tema de las políticas públicas se menciona la falta de una política pública de Ciencia, Tecnología e Innovación en Salud (Delgado 2020; Vaca, 2020) y la falta de una política pública de investigación clínica acorde a los requerimientos del país (Vaca, 2020), fallas en la Política Farmacéutica Nacional (2012-2021) (Cataño, 2020; Gómez, 2020).

La financiación adecuada, oportuna y permanente en temas de ciencia básica y aplicada, innovación y tecnología son reconocidas como una de las principales causas por las que el país no puede ser hoy autónomo en la materia (Delgado, 2020; Baptiste, 2020; García, 2020; Samay, 2020; Restrepo, 2020).

c) Retos que el COVID-19 plantea a la autonomía farmacéutica

La pandemia del COVID-19 ha puesto en evidencia las falencias tanto del sistema de salud pública nacional como las inequidades sociales y económicas del país y ha planteado retos en todos los frentes, en el modelo económico, en el patrón de industrialización del país, capacidad productiva, en la capacidad de ciencia, tecnología e innovación, uso y apropiación social del conocimiento, modelos

educativos presenciales, entre muchos otros. Estos retos impactan todos los sectores económicos agrícola, ambiental, alimentos, industrial, comercio, etc y de una adecuada estrategia para enfrentarlos dependerá la era postpandemia de COVID-19 en el país.

Específicamente para el sector farmacéutico es claro que las cadenas globales de suministro de insumos médicos, medicamentos, reactivos de diagnóstico, terapias, muchas de ellas localizadas en Asia (sobre todo China e India) en Europa y Estados Unidos, han sufrido un colapso mundial que obliga en nuestros países a repensar el cómo tener cadenas de valor más cortas y menos dependientes, como relocalizar geográficamente a proveedores más cercanos, como contar con múltiples proveedores de igual calidad y precio, como renegociar los contratos ya existentes. En este nuevo modelo existe entonces para nuestros países una oportunidad real para repensar nuestro modelo de innovación farmacéutica y nuestro modelo sanitario de modo que pueda colocarse al paciente y a la enfermedad como el centro de una gestión sanitaria eficiente.

D. Políticas públicas relevantes en el sector farmacéutico y salud

1. Misión Internacional de Sabios Colombia 2019

El foco de *Ciencias de la vida y la Salud* reconoce que se desea lograr “la conversación entre los sistemas de salud y el sistema de CTI en salud, que en la práctica tienen discursos separados y trayectorias diferentes”. Propone cinco líneas programáticas de trabajo cada una de ellas con sus correspondientes objetivos y acciones, según se detalla en los cuadros 19 y 20.

Cuadro 19

Misión Internacional de Sabios Colombia 2019: líneas programáticas y objetivos estratégicos foco ciencias de la vida y de la salud

Líneas Programáticas	Objetivos Estratégicos
Determinantes de la salud y el bienestar para todos (medio ambiente, infraestructura, equidad de género, seguridad alimentaria, tranquilidad)	Reducir los determinantes considerados negativos para la salud y el bienestar a través de su estudio en el tiempo, los mecanismos que las producen y reproducen y la formulación de estrategias para abordarlos.
Creación de redes de atención y de producción de conocimiento en salud y bienestar	Lograr que al menos 90 % de la población reporte niveles positivos de salud y bienestar auto informados a partir del desarrollo de capacidades para adaptarse y gestionar los desafíos físicos, mentales y sociales que se presenten en la vida.
Política nacional de investigación para la salud y otras políticas en salud,	La política debe aumentar el nivel y el impacto en la salud y el bienestar de las investigaciones multidisciplinarias al involucrar a científicos y profesionales en proyectos ambiciosos comunes; inventar la medicina del futuro
Soberanía para la salud y el bienestar	Lograr una soberanía sanitaria en tecnologías de la salud, lo que permite controlar las amenazas a la salud derivadas de eventos externos que pueden afectar el suministro de productos esenciales para la salud.
Reformar el modelo educativo, de la enseñanza al aprendizaje contextualizado. Énfasis en áreas de salud y bienestar	Desarrollar en los ciudadanos y actores de los sistemas de salud las habilidades para ser cocreadores y corresponsables de la salud de todos, a partir de modelos de educación que integren, alineen y armonicen el conocimiento en salud producido local y globalmente

Fuente: Misión Internacional de Sabios Colombia 2019.

Cuadro 20
Misión Internacional de Sabios Colombia 2019: línea programática soberanía para la salud y el bienestar
objetivo estratégico y acciones

Objetivo estratégico	Acciones
Lograr una soberanía sanitaria en tecnologías de la salud, lo que permite controlar las amenazas a la salud derivadas de eventos externos que pueden afectar el suministro de productos esenciales para la salud.	<p>Formular e implementar una política industrial en salud que fomente la producción y el desarrollo de productos innovadores (medicamentos de síntesis químicas y biológicas, fito-medicamentos, terapias avanzadas, dispositivos médicos) de interés de salud pública, evitando la dependencia tecnológica del país.</p> <p>Consolidar las unidades de innovación en universidades y centros de investigación en diferentes regiones del país que faciliten la transferencia tecnológica en áreas de salud.</p> <p>En casos de interés público, el país debe utilizar la compra pública de tecnologías para la salud incluyendo medicamentos.</p> <p>Diseñar instrumentos para lograr acuerdos de transferencia de tecnología con empresas internacionales para producir medicamentos u otros productos localmente en los cuales hay desabastecimiento, se proyecte desabastecimiento en los siguientes cinco años o sean de interés público, con garantía de compra pública de los productos.</p> <p>Promover la producción de productos magistrales en hospitales e institutos públicos.</p> <p>Actualizar resoluciones de investigación clínica 2378/2008 e investigación en salud 8430/1993.</p> <p>Crear un marco regulatorio para la fabricación local y validación de reactivos y kits de diagnóstico.</p>

Fuente: Misión Internacional de Sabios Colombia 2019.

2. Política farmacéutica nacional

La actual Política farmacéutica nacional fue expedida en el año 2012 (CONPES 155), con una vigencia hasta el año 2021 y es fruto de múltiples discusiones e intentos regulatorios, entre ellos el Decreto 709/91, relacionados con medicamentos genéricos, la Ley 100 de 1993 que estableció la lista de medicamentos esenciales del país, así como la política farmacéutica nacional del año 2003 y la ley 1438 del Sistema General de Seguridad Social (SGSS) que estableció la necesidad de definir una política farmacéutica de insumos y dispositivos médicos.

La política farmacéutica de 2012 fue formulada en el marco de *“los principios constitucionales asociados al derecho a la salud, por lo cual los elementos de desarrollo industrial del sector farmacéutico se incluyen solo en la medida en que faciliten el cumplimiento del derecho a la salud”*. En dicha política también es de resaltar que *“los medicamentos se consideran bienes meritorios y a la vez productos comerciales y bienes de producción industrial”* y en este sentido la política propende porque *“los intereses de quienes producen y comercializan los medicamentos faciliten el cumplimiento de los objetivos de salud pública”* (CONPES, 2012).

La política identifica como el principal problema de la situación farmacéutica dos elementos fundamentales: el acceso inequitativo a medicamentos, y la deficiente calidad de atención asociados principalmente a cinco razones: a) Uso inadecuado e irracional de los medicamentos y deficiente calidad de la atención, b) uso ineficiente de los recursos financieros de la salud e inequidades en el acceso a medicamentos, c) Oferta, suministro y disponibilidad insuficiente de medicamentos esenciales, d) Ausencia de transparencia, baja calidad de la información y escaso monitoreo del mercado farmacéutico y e) Debilidades en la rectoría y en la vigilancia. (CONPES 155).

3. Marco regulatorio

a) Nuevos medicamentos

De acuerdo con las Resoluciones 2378 de 2008 y 3823 de 1997 se deben someter a aprobación por parte del INVIMA los protocolos de investigación con medicamentos que se lleven cabo entre las Fase I y la Fase III (con intervención). Los protocolos de investigación Fase IV (estudios observacionales), deben ser notificados ante el Invima, teniendo en cuenta la definición de la guía ASS-RSA-GU030,

presentando un resumen del diseño, objetivos, desenlaces, plan de análisis de resultados y código de identificación en registro público de ensayos clínicos (www.invima.gov.co).

b) Medicamentos biológicos/biotecnológicos de uso humano

El marco regulatorio que establece el régimen de registro sanitario para los medicamentos biológicos/biotecnológicos de uso en humanos está dado por el Decreto 677 de 1995, que sería posteriormente complementado y modificado por el Decreto 1782 de 2014 que establece los requisitos y el procedimiento para las Evaluaciones Farmacológica y Farmacéutica de los medicamentos biológicos en el trámite del registro sanitario; y la Resolución 5402 de 2015 que expide el manual y el instrumento de verificación de las Buenas Prácticas de Manufactura de Medicamentos Biológicos.

Los medicamentos biológicos son derivados de organismos o células vivas o sus partes. Se pueden obtener de fuentes tales como tejidos o células, componentes de la sangre humana o animal (como antitoxinas y otro tipo de anticuerpos, citoquinas, factores de crecimiento, hormonas y factores de coagulación), virus, microorganismos y productos derivados de ellos como las toxinas.

Estos productos son obtenidos con métodos que comprenden, pero no se limitan a cultivo de células de origen humano o animal, cultivo y propagación de microorganismos y virus, procesamiento a partir de tejidos o fluidos biológicos humanos o animales, transgénesis, técnicas de ácido desoxirribonucleico (ADN) recombinante, y técnicas de hibridoma. Los medicamentos que resultan de estos tres últimos métodos se denominan biotecnológicos. De manera tal que quedan acá incluidos los OGM que son productos farmacéuticos destinados a los seres humanos, y que son excluidos del Protocolo de Cartagena (Ley 740/2002) en su artículo 5.

Los productos biológicos se clasifican en: Grupo I productos para la inmunización activa: vacunas bacterianas, vacunas virales, toxoides; Grupo II productos para la inmunización pasiva: antitoxinas, anti-venenos, globulinas inmunes; Grupo III agentes utilizados con fines diagnósticos: toxinas, tuberculina; Grupo IV sangre humana y derivados sanguíneos: alérgenos.

c) Productos fitoterapéuticos

En Colombia estos productos están regulados bajo el Decreto 1556 de 2018 que tiene por objeto reglamentar el régimen de registro sanitario para productos fitoterapéuticos, incorporar nuevos referentes internacionales y simplificar el procedimiento para su renovación y modificación, y señalar los requisitos para su expendio; y el cual Deroga los Decretos 2266 y 3553 del 2004 del Ministerio de Salud, salvo lo previsto en materia de Buenas Prácticas de Manufactura y lo relativo a envases, etiquetas y empaques.

El Decreto 1556 para efectos de la expedición del registro sanitario de los productos fitoterapéuticos, los clasifican en tres categorías:

- i) *Preparaciones farmacéuticas con base en plantas medicinales (PFM)*: Es el producto fitoterapéutico elaborado a partir de material de la planta medicinal, o preparados de esta, a la cual se le ha comprobado actividad terapéutica y seguridad farmacológica y que está incluido en las normas farmacológicas colombianas o en el listado de plantas medicinales para productos fitoterapéuticos de la categoría preparaciones farmacéuticas con base en plantas medicinales. Su administración se realiza para indicaciones definidas y se utiliza para la prevención, alivio, diagnóstico, tratamiento, curación o rehabilitación de la enfermedad.
- ii) *Producto fitoterapéutico de uso tradicional (PFT)*: Es aquel producto fitoterapéutico de fabricación nacional elaborado a partir de material de planta medicinal o asociaciones entre sí cultivadas en nuestro país y que esté incluido en el listado de plantas medicinales para productos fitoterapéuticos de uso tradicional, en las formas farmacéuticas aceptadas cuya eficacia y seguridad, aún sin haber realizado estudios clínicos, se deduce de la experiencia

por su uso registrado a lo largo del tiempo y, en razón de su inocuidad, está destinado para el alivio de manifestaciones sintomáticas de una enfermedad.

- iii) *Producto fitoterapéutico de uso tradicional, importado (PFTI)*: Es aquel producto fitoterapéutico elaborado a partir de planta medicinal o asociaciones entre sí, que esté incluido en el listado de plantas medicinales para productos fitoterapéuticos de uso tradicional, en las formas farmacéuticas aceptadas, cuya eficacia y seguridad, aún sin haber realizado estudios clínicos, se deduce de la experiencia por su uso registrado a lo largo del tiempo y que en razón de su inocuidad, está destinado para el alivio de manifestaciones sintomáticas de una enfermedad.

Al Invima le corresponde elaborar y actualizar los listados de plantas medicinales aceptadas con fines terapéuticos para productos fitoterapéuticos de las tres categorías de productos fitoterapéuticos, utilizando el Vademécum de plantas medicinales colombiano, e incorporando las monografías de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y European Medicines Agency (EMA), así como de aquellas que el Ministerio de Salud y Protección Social defina en coordinación con el Invima.

Si se desea obtener un producto fitoterapéutico con base en el uso de la diversidad biológica como fuente inicial de variación, también deberá tenerse en cuenta todo el extenso cuerpo legislativo nacional que pone en vigencia en el país la Decisión Andina 391 de 1996 o Régimen común de acceso a los recursos genéticos y sus productos derivados (emanada del cumplimiento de los artículos 15, 16 y 17 del Convenio de la Diversidad Biológica).

d) Dispositivos médicos y reactivos de diagnóstico

En Colombia todos los dispositivos médicos y equipos biomédicos requieren para su producción, importación, exportación, procesamiento, envase, empaque, almacenamiento, expendio y comercialización de registro sanitario expedido por el Invima, previo el cumplimiento de los requisitos técnicos-científicos, sanitarios y de calidad previstos en el Decreto 4725 del 26 de diciembre de 2004. Esta reglamentación NO incluye a los reactivos de diagnóstico in vitro, clasificados como dispositivos médicos en otros países. Para el caso de estos últimos productos se cuenta con una regulación específica establecida en el Decreto 3770 de 2004, del Ministerio de Salud.

e) Tecnologías de frontera

Las tecnologías de frontera incluyen los bancos de células y tejidos, los tratamientos con células madre y la terapia génica. En Colombia los bancos de tejidos y medula ósea están regulados por el Decreto 2493 de 2004 y por las reglamentaciones respectivas del Instituto Nacional de Salud y del INVIMA (Resolución 5108 de 2005 relacionada con el cumplimiento de buenas prácticas de manufactura BPM para bancos de tejidos y medula ósea).

Los tratamientos con células madre están basados en la Ley 1905 de 2016 que contiene el marco sobre componentes anatómicos y por lo dispuesto por el Comité Técnico 252 del ICONTEC que establece: a) Requisitos de calidad para células madre mesenquimales humanas, b) Guía general para la caracterización de células humanas para aplicaciones terapéuticas y c) Requisitos de proceso y calidad para el establecimiento, mantenimiento y caracterización de líneas celulares de mamíferos.

4. Propuestas para construir un camino nacional hacia la autonomía farmacéutica

Las propuestas presentadas durante el Foro de Autonomía Farmacéutica (Agudelo Eljach 2020) indican que se necesita un trabajo coordinado y constante en por lo menos ocho áreas para dar el primer paso hacia un nuevo modelo de autonomía farmacéutica en Colombia. Estas áreas son: i) políticas, ii) financiación, iii) institucionalidad, iv) educación, v) regulación, vi) talento humano, vii) logística, y viii) aprovechamiento sostenible del capital natural del país (Cuadro 21).

Cuadro 21
Áreas y objetivos identificados para la construcción de un modelo de autonomía farmacéutica

Áreas	Objetivo
Políticas	Política de reindustrialización para la seguridad farmacéutica; Política de Ciencia, Tecnología e Innovación para la salud; Política de Innovación Farmacéutica moderna.
Financiación	Incrementar y mantener la inversión del estado en CTel y en actividades de CTel.
Institucionalidad	Fortalecimiento institucional de los institutos nacionales de investigación, como el Instituto Nacional de Salud (INS), el Instituto Nacional de Cancerología (INC), y el Federico Lleras Acosta.
Educación	Repensar el modelo educativo para que este piense más en términos de territorio, contexto y de bienestar y transformación de la sociedad.
Aspectos regulatorios	Racionalizar, disminuir o eliminar barreras regulatorias que se constituyen en un pesado lastre para los temas de innovación y desarrollo biotecnológico y farmacéutico (acceso a recursos genéticos, ensayos clínicos, entre otros).
Talento humano	Garantizar formación al más alto nivel para poder desarrollar tecnologías y procesos asociados a campos como la Biotecnología, farmacéutico, ciencias ómicas, medicina translacional y cuarta revolución industrial, entre otras.
Logística	Facilitación de trámites y procesos en comercio internacional y dar un salto cuantitativo en transporte y vías de comunicación.
Uso del capital natural	Emplear la enorme riqueza que tiene el país como base de una nueva industria de productos biológicos, biotecnológicos, biosimilares y fitoterapéuticos, entre otros.

Fuente: Agudelo Eljach (2020).

E. Industria farmacéutica colombiana

1. Los clústeres en la industria farmacéutica colombiana

a) Iniciativa Clúster Salud del área Metropolitana de Bucaramanga

La iniciativa *Clúster Salud del área metropolitana de la Ciudad de Bucaramanga* en Santander, Colombia, fue desarrollada desde el año 2014 siguiendo el modelo estatal de Rutas Competitivas, con el apoyo de la Cámara de Comercio de la ciudad, considerando que éste sector era uno de los más competitivos de la economía regional (en ese momento facturaba aproximadamente \$ 2,9 billones COP anuales, generaba 22.000 empleos a través de más de 4.000 empresas y contaba con dos zonas francas especializadas en salud) (Innpulsa et al, 2018).

b) Iniciativa Clúster de Salud Farma Atlántico

El *Clúster de Salud Farma Atlántico* nace en el año 2010 con el apoyo de la Cámara de Comercio de la ciudad de Barranquilla y su plan de acción contempla cinco lineamientos: i) sensibilización; ii) generación de negocios a partir de oportunidades detectadas; iii) innovación (desarrollo de nuevos servicios y productos de salud vinculados con la estrategia definida); iv) esquemas de financiación; y v) plataforma virtual.

La agencia estatal INNPULSA Colombia cofinanció un proyecto para sofisticar los servicios de salud y para instalar un modelo metropolitano de I+D+I en la ciudad, con la meta de aumentar en 5% las ventas de nuevos productos y servicios de salud, aumentar 10% las ventas en salud a pacientes internacionales y mejorar la productividad en 15%.

c) Iniciativa Clúster Farmacéutico de Bogotá Región

El *Clúster Farmacéutico de Bogotá* región es liderado por la Cámara de Comercio de Bogotá y tiene cuatro pilares estratégicos de trabajo: i) fortalecimiento de las unidades de desarrollo de producto; ii) mejoramiento de procesos y estándares de producción; iii) desarrollo de nuevas oportunidades de negocio e internacionalización; y iv) fortalecimiento del entorno sectorial y de I+D+I.

En el marco de la estrategia generada por la pandemia del COVID-19, el Clúster Farmacéutico de Bogotá ha trabajado en el área de formación virtual, en temas como innovación, reconversión productiva e inteligencia artificial aplicada en el sector farmacéutico y salud para contrarrestar los efectos del COVID-19, y en los retos y oportunidades de la investigación clínica en épocas de coyuntura.

d) Otras iniciativas

También es necesario mencionar que existen otras instancias y programas que apoyan la labor de la industria farmacéutica y que en un futuro podrían servir de punto de apoyo para fortalecer la vinculación entre el sector público/privado. Entre ellas destacan dos iniciativas:

- i) Programa Colombia Productiva (con el apoyo de la ONUDI y la Cooperación del Gobierno Suizo), que ejecuta un Programa de Calidad para la Cadena de Químicos que incluye a los sectores Farmacéutico y Cosmético; y
- ii) la Agencia local de promoción INVEST IN Bogotá, en asocio con la Cámara de Comercio y el Programa ProColombia, adelanta un proyecto para mejorar el ambiente de inversión y las oportunidades de negocios en el sector de la Salud Humana, uno de cuyos objetivos es que la ciudad de Bogotá pueda ser un polo para el desarrollo de evaluaciones clínicas.

2. Medicamentos esenciales

a) El criterio de la OMS

La lista de medicamentos esenciales es un inventario de los medicamentos utilizados en el tratamiento de problemas mundiales de salud elaborada por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Cada medicamento que ingresa a esta lista es evaluado mediante un proceso científico en el cual se tienen en cuenta los criterios de calidad, seguridad, eficacia y costo-eficiencia. Para que un medicamento sea incluido en la lista debe estar disponibles en todo el sistema de salud, en cantidades y formas farmacéuticas apropiadas, tanto en la lista de medicamentos esenciales como tal, y los medicamentos esenciales para niños (OMS, 2020).

La primera lista de medicamentos esenciales se elaboró en el año 1977 e incluía 208 medicamentos. La lista es revisada cada dos años de modo tal que refleje los desafíos sanitarios globales y pueda brindarle a cada estado miembro ejemplos que puede adoptar a cada una de sus necesidades nacionales. La lista modelo de medicamentos esenciales no es obligatoria para los países miembros, ya que el perfil epidemiológico de cada país es diferente, pero es una de las piezas claves de cualquier política farmacéutica nacional pues colabora con la racionalización, el acceso, la adquisición y la distribución de los medicamentos, brinda información científica útil para monitorear reacciones adversas y/o potenciales problemas de seguridad derivados del uso de los medicamentos, y es un parámetro importante al momento de fijar precios en cada uno de los estados miembros (OMS, 2020).

En la vigésimo segunda reunión del Comité de expertos de la OMS sobre selección y uso de medicamentos esenciales (Ginebra, abril de 2019) se revisó y actualizó la veintava versión de la lista modelo de medicamentos esenciales y la sexta versión de la lista modelo de medicamentos esenciales para niños (WHO, 2019).

b) Medicamentos esenciales en Colombia

En Colombia la resolución 005521 del 27 de diciembre del 2013 definió y aclaró integralmente el Plan Obligatorio de Salud -POS- de los Regímenes Contributivo y Subsidiado, que debería ser garantizado por las Entidades Promotoras de Salud EPS a sus afiliados en el territorio nacional, en las condiciones de calidad establecidas por la normatividad vigente.

Esta resolución definía el POS como el conjunto de tecnologías en salud que determina a qué tiene derecho, en caso de necesitarlo, todo afiliado al Sistema General de Seguridad Social en Salud -SGSSS-

constituyéndose en un instrumento para que las Entidades Promotoras de Salud -EPS- garanticen el acceso a las tecnologías en salud bajo las condiciones previstas.

La precitada resolución definía un glosario de términos dentro de los cuales pueden citarse: Dispositivo médico para uso humano, equipo biomédico, forma farmacéutica, principio activo, medicamento, tecnología en salud, entre muchos otros y contenía tres anexos como parte integral del mismo, pero, cuya aplicación era de carácter obligatorio, el Anexo 1 "Listado de Medicamentos del Plan Obligatorio de Salud"; el Anexo 02 "Listado de Procedimientos del Plan Obligatorio de Salud", y el Anexo 3 "Listado de Laboratorio Clínico del Plan Obligatorio de Salud".

El listado general de medicamentos POS 2013 y los medicamentos para programas especiales en salud pública, contenían 710 ítems, el listado de procedimientos estaba constituido por 2.407 entradas y el listado de pruebas de laboratorio clínico por 816 entradas (Minsalud, 2013).

3. La respuesta de la ciencia, la tecnología y la innovación colombiana a la pandemia de COVID-19

Como una respuesta temporal a la pandemia del virus SARS COV-2, bajo la coordinación del Minciencias se aprobaron durante el año 2020 veinticinco proyectos de investigación, desarrollo e innovación en las siguientes cinco áreas, por un valor de \$ 25.500.000.000 millones COP (USD\$ 6.891.891):

- i) Salud Pública, relacionada con la intervención frente a riesgos epidemiológicos asociados a la COVID-19,
- ii) Sistemas de diagnóstico rápido para la infección por SARS Cov-2,
- iii) Estrategias de prevención por la infección de SARS Cov-2 y tratamiento de COVID-19,
- iv) Equipos y dispositivos médicos para el manejo de pacientes con COVID-19 y otras infecciones respiratorias agudas, garantizando la seguridad de los profesionales de la salud, y
- v) Sistemas de monitoreo de datos en tiempo real en relación con la COVID-19 y otros agentes causales de insuficiencia respiratoria aguda (IRA) que habiliten la posibilidad de modelar escenarios epidemiológicos.

La crisis de la pandemia de COVID-19 también permitió redirigir recursos financieros de los sistemas de Ciencia Tecnología e Innovación y del Sistema General de Regalías para el fortalecimiento de laboratorios de biología molecular mediante el desarrollo de 53 proyectos en 27 departamentos.

F. Análisis de viabilidad de un proyecto país autonomía farmacéutica

1. Factores habilitantes

a) Capacidad de obtener financiación

Un proyecto de estas características es necesariamente una propuesta de largo aliento y gran inversión en recursos financieros que requerirá el concurso de la Nación, ya sea bajo la modalidad de Proyecto Estratégico País, o asignándole un porcentaje de las regalías al proyecto o a los territorios donde éste se lleve a cabo. Una de las maneras adecuadas para su ejecución puede ser el establecimiento de alianzas públicas - privadas (APP) que permitan la participación tanto del sector público, representado en centros de investigación, universidades, institutos de investigación, hospitales, como del sector privado (laboratorios farmacéuticos) y las asociaciones gremiales (AFIDRO o ASINFAR).

Financiación internacional puede provenir de instituciones como la Corporación Andina de Fomento (CAF) o del Banco Interamericano de Desarrollo BID-INVEST.

b) Recursos humanos

Un proyecto de esta naturaleza es interdisciplinario por naturaleza, y debería incluir profesionales de las áreas de las ciencias de la vida, la salud, y de las ingenierías. Colombia, tanto en grupos de investigación como en personal formado de alto nivel en éstas dos áreas tiene una capacidad pequeña, pero de buen nivel académico, que le permitiría enfrentar este reto.

De los 5.207 grupos de investigación reconocidos en el país 884 corresponden al área de ciencias médicas y de la salud (17%) y de los aproximadamente 13.000 investigadores reconocidos por el Ministerio de Ciencias, 2,903 (16%) pertenecen a ciencias médicas y de la salud (Giha, 2020). El país cuenta con 122 centros de investigación clínica certificados, 75 Comités de ética aprobados por el INVIMA, 15 departamentos del país cuentan con hospitales y centros de investigación activos y cinco hospitales se encuentran entre los mejores de América Latina (Giha Y. 2020).

En el área de ciencias de la salud ligadas directa o indirectamente a biotecnología médica se ofrecen en el país 263 programas académicos activos de los cuales 74 tienen acreditación de alta calidad (AAC) y 207 tienen registro calificado (RC). De estos 165 son programas de pregrado y 98 programas de posgrado (Aramendis, R.H. 2020).

En el área de Ingeniería ligada directa o indirectamente al desarrollo de la biotecnología médica se ofrecen en el país 520 programas académicos activos de los cuales 120 tienen acreditación de alta calidad (AAC) y 428 tienen registro calificado. De estos 74 son programas de posgrado y 614 programas de posgrado (Aramendis, R.H. 2020).

En las áreas de ciencias naturales ligadas al desarrollo de la biotecnología médica se ofrecen en el país 567 programas académicos activos de los cuales 220 tienen acreditación de alta calidad (AAC) y 529 tienen registro calificado (Aramendis, R.H, 2020). Existen en la actualidad en el país veinte (20) programas académicos que forman tecnólogos en Regencia en Farmacia y doce (12) Universidades entre Públicas y Privadas que ofertan el Programa de Química Farmacéutica.

La formación de posgrado tanto a nivel de maestría como de doctorado en los tres núcleos base de conocimiento ligados a la biotecnología médica se ha incrementado en el período comprendido entre 2008 y 2017. Los programas de maestría en ciencias médicas pasaron de 45 (2008) a 536 (2017), en ciencias naturales de 70 (2008) a 129 (2017) y los de ingenierías de 93 (2017) a 349 (2017). Un comportamiento similar presenta los programas de doctorado en ciencias de la salud que aumentaron de 6 (2008) a 23 (2017), los de ciencias naturales de 24 (2008) a 58 (2017) y las ingenierías de 16 (2008) a 64 (2017) (Aramendis, R.H, 2020).

c) Gobernanza institucional

Por tratarse de un proyecto estratégico País debería existir un Comité Coordinador, un Director Ejecutivo responsable y un Comité Técnico Científico que represente a cada uno de los proyectos que conforman la plataforma. En el Comité Coordinador deberían tener asiento los ministerios de Salud y Protección Social, Comercio Industria y Turismo, Ciencia Tecnología e Innovación, el Departamento Nacional de Planeación, el sector privado, gremios farmacéuticos y los financiadores nacionales o internacionales.

d) Capacidad de involucrar al sector privado

El sector farmacéutico nacional es un sector pequeño pero en constante crecimiento. Para el año 2032 espera: a) alcanzar un mercado de \$ 63.4 miles de millones de pesos con una tasa de crecimiento del 11.1% (4.3 veces más que en el 2018); b) exportar USD\$ 1.719 millones de dólares, con una tasa de crecimiento de 12.42% (5.2 veces más que en el escenario actual; y c) alcanzar una producción valorada en \$ 34 miles de millones de pesos, con una tasa anual compuesta de crecimiento del 10.5% (Ministerio de Comercio Industria y Turismo, 2019).

Las áreas de mayor valor estratégico para Colombia incluyen: productos de diagnóstico, antiseros, productos inmunológicos y productos obtenidos vía biotecnología y son de interés para el sector farmacéutico colombiano (MinCit, 2019).

e) Alineación con el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022

El proyecto estaría alineado con el Plan Nacional de Desarrollo PND 2018-2022, que dentro del Pacto por la Equidad incluye la línea de “*Salud para Todos con Calidad y Eficiencia Sostenible para Todos*” con el objetivo de construir una visión de largo plazo del sistema de salud, centrada en la atención de calidad al paciente, con cobertura universal sostenible financieramente y acciones de salud pública consistentes con el cambio social, demográfico y epidemiológico que enfrenta Colombia. Este proyecto en particular se incluiría dentro los objetivos estratégicos: articulación de los agentes en torno a la calidad y, más infraestructura y dotación en salud, como contribución al acceso efectivo y la calidad.

2. Impactos potenciales

a) Impacto sobre objetivos de desarrollo sostenible

La ejecución del proyecto impactaría directamente el ODS 2 Salud y bienestar, ODS 9 Industria innovación e infraestructura, ODS 10 Reducción de las desigualdades. y ODS 17 Alianzas para lograr los objetivos.

b) Desarrollo territorial

El proyecto tendría un gran potencial para producir desarrollo territorial si se articula con los tres clústeres que el sector farma colombiano ha venido desarrollando desde hace algún tiempo: a) iniciativa Clúster del Área Metropolitana de Bucaramanga; b) iniciativa Clúster de Salud Farma Atlántico; y c) iniciativa Clúster Farmacéutico de Bogotá Región.

c) Aporte al proceso de recuperación pospandemia de COVID-19

En el contexto recuperación pospandemia el desarrollo del proyecto puede contribuir a sentar las bases para que en un mediano – largo plazo el país pueda alcanzar grados de autonomía / seguridad farmacéutica que le permitan reducir su alta vulnerabilidad y dependencia de los turbulentos mercados internacionales farmacéuticos y de insumos médicos.

d) Convergencia tecnológica

Para que el proyecto sea competitivo internacionalmente en cada una de las plataformas que se proponen, deberá sus comienzos incorporar el uso de herramientas de la Cuarta Revolución Industrial (4RI) y en particular Inteligencia Artificial (IA) y Big Data. El uso de tales herramientas permite acelerar y reducir el costo de búsqueda y selección de principios activos con actividad farmacológica, así como identificar moléculas para su evaluación y selección como candidatas para estudios preclínicos y clínicos.

VII. Química verde

A. Visión estratégica

Se propone desarrollar un proyecto país química verde para contribuir a la implementación de las recomendaciones de la Misión Internacional de Sabios 2019 en los ítems de Producto Interno Bruto PIB, Exportaciones y Salud.

Los objetivos específicos del proyecto serían:

- Desarrollar un proyecto de química verde para Colombia que alineado con la Visión 2032 de la Industria Química Colombiana sustituya las importaciones de uno o varios de las diez (10) posiciones arancelarias más importadas por el país.
- Desarrollar un proyecto de química verde para Colombia que alineado con la Visión 2032 de la Industria Química Colombiana potencie las exportaciones de una o varias de las ocho posiciones arancelarias más exportadas por el país.

Como contribución al cumplimiento de las metas propuestas por la misión de sabios se propone:

- Contribución al aumento al 10% del PIB al 2030 proveniente de Bioeconomía.
- Duplicación de exportaciones al 2030.
- Diez (10) nuevos fitoterapéuticos o biológicos al 2030.

B. Antecedentes

La industria química en Colombia es deficitaria en materia de comercio exterior, con un crecimiento promedio acumulativo anual del 0.65% en las importaciones y una caída de las exportaciones del -3.06% en el período 2014-2018. Para revertir esa actual situación el sector ha planteado una Visión 2032 que considera dos elementos fundamentales: i) una propuesta de valor centrada en lograr el liderazgo

en ciertas categorías y posicionarse como una industria innovadora, y ii) incorporar herramientas como la química verde, la síntesis química y la biotecnología dentro de sus procesos productivos (Colombia Productiva, 2020).

Se propone un gran proyecto país (2020 -2025) que emplee las herramientas que brinda la química verde para reemplazar una o varias de las diez más importantes partidas arancelarias de importación de químicos y potencializar una o varias de las ocho partidas arancelarias más exportadas del país.

C. El concepto de química verde

1. Definición y alcance

El concepto fue construido al final de la década de los años noventa y está basada en 12 principios fundamentales (Vaz Jr, 2019) (recuadro 6).

Recuadro 6	
Principios en los que se basa la química verde	
i)	Prevenición: Es mejor prevenir los desechos que tratarlos después de que hayan sido generados.
ii)	Economía atómica: Deben diseñarse métodos sintéticos para maximizar la incorporación de todos los materiales utilizados en el proceso, en el producto final.
iii)	Síntesis de sustancias químicas menos peligrosas: Siempre que sea posible, los métodos sintéticos deben diseñarse para utilizar y producir sustancias que posean poca o ninguna toxicidad para la salud humana y el ambiente.
iv)	Diseño de productos químicos más seguros: Los productos químicos deben diseñarse de forma tal que cumplan la función deseada a la vez que minimizan su toxicidad.
v)	Solventes y auxiliares más seguros: El uso de sustancias auxiliares (por ejemplo, disolventes, agentes de separación) debe ser considerado innecesario, siempre que sea posible, o si las mismas son empleadas, éstas deben ser de naturaleza inocua cuando se utilicen.
vi)	Diseño para la eficiencia energética: Los requisitos energéticos de los procesos químicos deben reconocerse por sus impactos ambientales y económicos y deben minimizarse. Si es posible, los métodos sintéticos deben llevarse a cabo bajo condiciones de temperatura y presión ambientales.
vii)	Uso de materias primas renovables: Siempre que sea técnica y económicamente viable las materias primas a emplear deben ser de carácter renovable.
viii)	Reducir derivados: El empleo de procesos de derivatización (uso de grupos de bloqueo, protección/desprotección, modificación temporal de los procesos físicos / químicos) debe minimizarse o evitarse tanto como sea posible, porque dichos procesos requerirán reactivos adicionales que pueden crear residuos.
ix)	Catálisis: Los reactivos catalíticos son superiores a los reactivos estequiométricos.
x)	Diseño para degradación: Los productos químicos deben diseñarse de tal manera que al finalizar el cumplimiento de su función, se descompongan en productos de degradación inocuos y no persistentes en el ambiente.
xi)	Análisis en tiempo real para prevenir la contaminación: Las metodologías analíticas deben diseñarse más para permitir monitoreo y control de los procesos en tiempo real, antes que, la formación de sustancias peligrosas.
xii)	Química inherentemente más segura para la prevención de accidentes: Las sustancias y la forma de las sustancias utilizadas en los procesos químicos deben ser elegidas para minimizar el potencial de ocurrencia de accidentes químicos, incluidas emisiones, explosiones e incendios.
Fuente: Vaz Jr (2019).	

El concepto ha venido evolucionando y adaptándose al desarrollo científico tecnológico. Por ejemplo, para la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) la química verde es “*el diseño de productos y procesos químicos que reducen o eliminan el uso o generación de sustancias peligrosas ... Se aplica a lo largo del ciclo de vida de un producto químico, incluido su diseño, fabricación, uso y*

eliminación final". También se conoce como química sostenible, ya que busca reducir la contaminación en su origen al minimizar o eliminar los peligros de las materias primas químicas, reactivos, solventes y productos (EPA, 2020).

La EPA diferencia a la química verde de la remediación, pues la última implica el tratamiento de corrientes de desechos (tratamiento al final de la tubería) o la limpieza de derrames ambientales y otras emisiones, que puede incluir separar los productos químicos peligrosos de otros materiales y luego tratarlos para que dejen de ser peligrosos o concentrarlos para su eliminación segura. En este sentido, varias actividades de la remediación no involucran la química verde. Por su parte la química verde mantiene fuera del ambiente tales materiales peligrosos.

Los productos de la química verde pueden clasificarse en las siguientes categorías: a) solventes verdes; b) catalíticos verdes; c) procesos eficientes; d) productos ambientalmente benignos; y e) materias primas verdes y renovables (Vania G. Z et al, 2020; Sambhudevan, 2018).

2. Beneficios de la química verde

La química verde presenta innegables beneficios directos desde el punto de vista de la salud humana, del medio ambiente y de la economía de los países. Un muy breve resumen de dichos beneficios puede verse el cuadro 22.

Cuadro 22
Beneficios de la química verde

Salud	Ambientales	Económicos
Aire más limpio: menor liberación de sustancias químicas peligrosas al aire, lo que provoca menos daño a los pulmones.	Muchos productos químicos terminan en el medio ambiente por liberación intencional durante el uso (por ejemplo, pesticidas), por liberaciones no deseadas (incluidas las emisiones durante la fabricación) o por eliminación. Los productos químicos verdes se degradan a productos inocuos o se recuperan para su uso posterior.	Mayor rendimiento para reacciones químicas, consumiendo cantidades menores de materia prima para obtener la misma cantidad de producto.
Agua más limpia: menor liberación de desechos químicos peligrosos al agua, lo que conduce a agua potable y recreativa más limpia.	Las plantas y los animales sufren menos daños por los productos químicos tóxicos en el medio ambiente.	Menos pasos sintéticos, lo que a menudo permite una fabricación más rápida de productos, aumenta la capacidad de la planta y ahorra energía y agua.
Mayor seguridad para los trabajadores de la industria química; menor uso de materiales tóxicos; se requiere menos equipo de protección personal; menor potencial de accidentes (por ejemplo, incendios o explosiones).	Menor potencial de calentamiento global, agotamiento del ozono y formación de smog.	Reducción de residuos, eliminando costosas remediaciones, eliminación de residuos peligrosos y tratamientos al final de la tubería.
Productos de consumo más seguros de todo tipo: se podrán adquirir productos nuevos y más seguros; algunos productos (por ejemplo, medicamentos) se fabricarán con menos desperdicio; algunos productos (es decir, pesticidas, productos de limpieza) serán reemplazos de productos menos seguros.	Menor alteración química de los ecosistemas.	Permitir el reemplazo de una materia prima comprada por un producto de desecho.
Alimentos más seguros: eliminación de sustancias químicas tóxicas persistentes que pueden ingresar a la cadena alimentaria; plaguicidas más seguros que son tóxicos solo para plagas específicas y se degradan rápidamente después de su uso.	Menor uso de vertederos, sobre todo vertederos de residuos peligrosos.	Mejor rendimiento para que se necesite menos producto para lograr la misma función.
Menor exposición a sustancias químicas tóxicas como disruptores endocrinos.		Reducción del uso de productos derivados del petróleo, ralentizando su agotamiento y evitando sus peligros y fluctuaciones de precios.
		Reducción del tamaño o la huella de la planta de fabricación mediante un mayor rendimiento.
		Aumento de las ventas al consumidor al obtener y mostrar una etiqueta de producto más seguro (p. ej. Etiquetado Safer Choice).
		Mejora de la competitividad de los fabricantes de productos químicos y sus clientes.

Fuente: EPA (2020).

D. La química verde en Colombia

1. Caracterización de la industria química

El valor de la producción del sector de químicos en Colombia creció a una tasa promedio acumulativa anual (TPAA) de 8,4 % en el período 2000-2018, por encima del crecimiento mundial, que fue 6,6%. El valor de la producción pasó de COP 3.15 billones en 2000 a COP 13,35 billones en 2018. Las categorías que más contribuyeron al crecimiento del sector fueron productos químicos NCP² y plaguicidas y otros químicos de uso agropecuario con tasas de 33% y 20% respectivamente. El 77% de las empresas del sector de químicos, pinturas y barnices son microempresas, localizadas principalmente en la Ciudad de Bogotá que concentra el 33,9% de las ventas, seguido por Cartagena que genera el 8,1%.

En materia de comercio exterior el país presenta un déficit comercial creciente, con una TPAA de 4,27% en las importaciones y de 0,90 en las exportaciones en el período 2010-2018. Ello ha generado déficits comerciales crecientes, de aproximadamente USD 2.700 en 2000, USD 3.400 millones en 2014 y 3.600 millones en 2018 (Colombia Productiva, 2019).

El monto de las exportaciones en el sector para el 2018 fue de USD 959 millones. Los principales destinos de las exportaciones son países de la región y las sustancias más exportadas incluyen insecticidas, fungicidas, abonos minerales o químicos, otras formas de carbono (negros de humo), pigmentos (incluidos polvo y laminillas metálicas), ácido cítrico, inhibidores de germinación y reguladores de crecimiento (Colombia Productiva, 2019).

Las sustancias que más se importan corresponden a diez partidas arancelarias, a saber (Colombia Productiva, 2019):

- i) propeno (propileno);
- ii) cloruro de vinilo (cloro etileno);
- iii) urea;
- iv) estireno;
- v) reactivos de diagnóstico o de laboratorio;
- vi) mezclas de sustancias odoríferas para alimentos y bebidas;
- vii) mezclas de sustancias odoríferas y mezclas basadas en una o varias sustancias;
- viii) dodecilbeno;
- ix) ciclopiridinas, y
- x) pigmentos y preparaciones basadas en óxido de titanio.

2. Visión y metas del sector de químicos para el año 2032

La Visión 2032 del sector de químicos en Colombia es estar "especializado en la producción y el desarrollo de productos químicos acordes a los estándares de calidad de clase mundial para realizar encadenamientos productivos, integrando herramientas como nanotecnología, biotecnología, química verde, biorrefinerías y síntesis química, con capacidad de atender la demanda nacional e incrementar las exportaciones, contribuyendo al logro de los objetivos de desarrollo sostenible. Se aspira alcanzar en el 2032 un valor de producción de COP 34,1 billones (aprox. USD 11.300 millones), 2,54 veces más

² Productos NCP son una categoría variada de clasificación internacional que incluye peptonas, explosivos, pólvoras, extracción y refinación de aceites esenciales, extracción de aromáticas, entre otras muchas categorías.

que en 2018; y un nivel de exportaciones de COP 5,95 billones (USD 1.971 millones, aproximadamente). (Colombia Productiva, 2019).

De acuerdo con el Plan de Negocio de Colombia Productiva la propuesta de valor para el sector de químicos en Colombia es que éste debe actuar como *“especialista de categorías, volcándose hacia un promotor de innovación, a fin de mejorar las condiciones en la cadena de abastecimiento o de introducir nuevos productos en el mercado”*. Para ello se propone la implementación de 24 iniciativas clasificadas en cuatro categorías: i) propuesta de valor, ii) aumento de productividad, iii) fortalecimiento, acceso y producción, y iv) capital humano conocimiento e innovación.

Varias de las iniciativas están directamente relacionadas con el uso, desarrollo y oportunidades para el desarrollo de la química verde en el país, dentro de las que se destacan: i) desarrollar proyectos de encadenamientos productivos hacia adelante para incrementar la producción de materia prima habilitadora para otros sectores (bioactivos, esencias, oleoquímica, sucroquímica, entre otros; y ii) desarrollar síntesis de ingredientes activos para producir en el país (plaguicidas más amigables con el medio ambiente y efectivos contra los riesgos fitosanitarios de la zona tórrida).

3. Aspectos regulatorios

La regulación de los productos Químicos en Colombia proviene tanto de la suscripción y aplicabilidad de los convenios internacionales o regionales de los cuales el país hace parte; Internacionales (Convenio de Rotterdam, Convenio de Estocolmo, Convenio de Basilea y Convenio de Minamata) y regionales (Comunidad Andina de Naciones CAN); como, de las correspondientes reglamentaciones nacionales, que implementan, tanto los convenios internacionales, como las propias disposiciones del ordenamiento jurídico nacional. Las reglamentaciones nacionales pueden ser generales, sectoriales y particulares y cubren tanto desde el tema de producción, fabricación y comercialización de agroquímicos, como el de productos de carácter industrial (p. ej. pinturas, esmaltes, y barnices).

a) Reglamentación internacional

El **Convenio de Rotterdam** tiene por objeto promover la responsabilidad compartida y el esfuerzo conjunto de los países en el comercio internacional de ciertos productos químicos considerados peligrosos a fin de proteger la salud humana y el medio ambiente frente a posibles daños y contribuir a su utilización. El Convenio establece un proceso de Consentimiento Informado Previo (CIF) para la importación de ciertas sustancias químicas consideradas peligrosas. Colombia es país parte del Convenio desde diciembre de 2008.

El **Convenio de Estocolmo** tiene por objeto proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los contaminantes orgánicos persistentes (COPs). El Convenio requiere que las partes tomen medidas para eliminar o reducir la producción, utilización, importación, exportación y emisión al medio ambiente de COPs e incluye disposiciones en cuanto al acceso a la información, la sensibilización y formación del público y la participación en el desarrollo de planes de aplicación. En Colombia el convenio fue aprobado mediante la Ley 1196 del 2008 y entro en vigor a partir del veinte (20) de enero del 2009.

El **Convenio de Basilea** ha de ser tenido en cuenta en la medida que la industria química genera algunos desechos que pueden ser considerados peligrosos. El Objetivo del Convenio es establecer un marco de control sobre los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, que incluye disposiciones sobre: generación de desechos peligrosos y promoción de la gestión ambientalmente racional de los mismos, restricción de los movimientos transfronterizos, sistema regulatorio para movimientos aceptables y un Protocolo de responsabilidad e indemnización por los daños resultantes de dichos movimientos. El Convenio fue aprobado en Colombia mediante la Ley 253 de 1996.

El **Convenio de Minamata** busca proteger la salud humana y el medio ambiente de las emisiones y liberaciones antropogénicas de mercurio. Sus principales provisiones incluyen: prohibición de nuevas minas de mercurio, la eliminación gradual de las existentes la reducción del uso del mercurio en una serie de productos y procesos, la promoción de medidas de control de las emisiones a la atmósfera y de las emisiones a la tierra y al agua, así como la regulación inexistente del sector de la minería artesanal y a pequeña escala. El Convenio también se encarga del almacenamiento provisional de mercurio y su eliminación una vez que se convierte en residuo, los puntos contaminados de mercurio y temas sanitarios. Colombia depositó oficialmente su instrumento de ratificación del Convenio el 26 de agosto de 2019, fecha a partir de la cual es oficialmente país parte del Convenio.

b) Reglamentación regional

Por el tamaño e importancia del mercado de agroquímicos en Colombia es importante mencionar en la región andina (Colombia, Bolivia, Ecuador y Perú) la Decisión 436/98 de la Comunidad Andina de Naciones, modificada por la Decisión 804/15, vigente, y su manual técnico que establecen requisitos y procedimientos armonizados para el registro y control de plaguicidas de uso agrícola.

También debe citarse en materia de productos cosméticos a la Decisión Andina 833 de 2018 (que entrara en vigor a partir del 31 de marzo del 2021) y que deroga parcialmente la Decisión 516 en la materia y la Decisión 857 modificatoria de las decisiones 833 y 516 sobre armonización de las legislaciones en materia de cosméticos en la región andina.

c) Reglamentación nacional

La Ley general ambiental del país es la Ley 99 de 1993 y de ella se derivan las reglamentaciones ambientales sectoriales y particulares. Algunas de las normas nacionales relacionadas son:

- El Decreto 2811 de 2016 de MinAmbiente que reglamenta la gestión de las sustancias químicas de uso industrial.
- El Decreto 1496 de 2018 que adopta el Sistema Global de Clasificación y Etiquetado de productos químicos de las Naciones Unidas (2015) y que permite clasificar y comunicar los riesgos.
- Ley 55 de 1993 que aprueba el "Convenio número 170 y la Recomendación número 177 sobre la Seguridad en la Utilización de los Productos Químicos en el Trabajo", aprobados por la 77ª Reunión de la Conferencia General de la OIT, Ginebra, 1990.

4. Organización gremial

La Industria Química en Colombia está agrupada en el Comité de la Industria Química CIQ de la Asociación Nacional de Industriales ANDI, que tiene como función "representar los legítimos y comunes intereses de las empresas ante sus diferentes actores de interés, ser la voz líder para impactar e influenciar en la expedición de normativa clara y pertinente, así como desarrollar actividades gremiales que visibilicen su aporte al desarrollo del país".

Las empresas integrantes de éste CIQ son: BASF, Colorquímica, DOW, Ecopetrol, Essentia, Givaudan, Messer, Reciclene, Sucroal y Protecnia Ingeniería.

5. Programa de calidad para la cadena de químicos

Desde el año 2019 funciona en Colombia el Programa de Calidad para la Cadena de Químicos, como un proyecto país del Programa Global de Calidad y Normas auspiciado por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) con la colaboración de la Secretaría de Estado para Asuntos Económicos de la Confederación Suiza (SECO). El Programa está dirigido a:

- MiPymes en los sectores de química básica, agroquímica, plásticos y pinturas, cosméticos y aseo y farmacéuticos;
- Laboratorios de ensayo/organismos evaluadores de conformidad;
- Entidades del Subsistema Nacional de la Calidad SICAL.

El Objetivo del proyecto es brindar asistencia y apoyo durante el período 2019-2022 a los esfuerzos del país para mejorar la competitividad de la economía y diversificar las exportaciones, mediante el fortalecimiento de la infraestructura nacional de la calidad y la capacidad de cumplimiento de estándares internacionales de las MiPymes que hacen parte de la cadena de químicos.

A las MiPymes el Programa les presta formación especializada, apoyo técnico, fomento de encadenamientos productivos y desarrollo de guías, estudios, documentos y herramientas; mientras que con el SICAL trabaja en el fortalecimiento de competencias técnicas y de los Comités de Normalización, fortalecimiento del Instituto de Metrología y en el desarrollo de un sistema de información que vincule servicios y capacidades de los Organismos Evaluadores.

E. Análisis de viabilidad de un proyecto país química verde

1. Factores habilitantes

a) Capacidad de obtener financiación

Un proyecto país en química verde para sustituir importaciones y potenciar las exportaciones se puede priorizar como parte del área estratégica de biomasa y química verde, una de las cinco áreas consideradas estratégicas por el Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación dentro de sus propuestas de implementación de las recomendaciones de la Misión Internacional de Sabios 2019.

El proyecto podría recibir financiación con recursos públicos nacionales bien sea a través de las convocatorias generales o específicas del Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación o por intermedio de los recursos del Sistema General de Regalías (SGR).

El proyecto debería involucrar al sector privado en la cadena de valor de cada una de las industrias químicas, dado que a él se le transferirán los resultados. Por lo tanto, los recursos financieros para apalancar el proceso a nivel industrial pueden venir de la Banca Nacional de Desarrollo Bancoldex (Área de Proyectos Especiales) o de la Banca Privada.

En el ámbito internacional el financiamiento del proyecto podría incluir recursos de banca multilateral, como Banco Mundial (BM) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), así como sus brazos para el financiamiento del sector privado, como la Corporación Financiera Internacional (CFI) y BidInvest.

El proyecto también puede ser financiable parcialmente por agencias de cooperación internacional bilateral y sus mecanismos de apoyo al sector privado.

b) Recursos humanos

El desarrollo de la química verde requiere no solo profesionales formados en Ingeniería química, sino también en ingeniería de sistemas, eléctrica, electrónica e industrial. Y desde las ciencias básicas concurren la biología, microbiología, química, física, y matemática; y por el ámbito de ciencias de la vida áreas como la bacteriología y la química farmacéutica.

Según el Ministerio de Educación, la formación de recursos humanos en áreas útiles para el avance de la química verde en Colombia, al año 2019, incluía 263 programas académicos activos en el área de la salud, de los cuales 74 contaban con acreditación de alta calidad, 520 programas activos de ingeniería, de los cuales 120 tenían acreditación de alta calidad, y 567 programas activos de ciencias

básicas, de los cuales 220 poseían una acreditación de alta calidad. El cuadro 23 muestra los programas académicos activos en Colombia ligados al desarrollo de la química verde en el país.

Cuadro 23
Programas activos ofrecidos por las instituciones de educación superior en Colombia

Área	NBC	Programas Activos	Acreditación de alta calidad	Registro Calificado
Salud	Bacteriología	14	6	9
	Medicina	224	60	179
	Nutrición y Dietética	16	5	13
	Química Farmacéutica	9	3	6
Total		263	74	207
Ingeniería	Ing. Biomédica	26	5	24
	Ing. de Sistemas	185	60	165
	Ing. Electrónica	92	37	73
	Ing. Industrial	184	41	166
	Ing. Química	33	14	18
Total		520	120	428
Ciencias naturales	Biología	105	42	24
	Microbiología	31	8	165
	Física	158	65	73
	Matemáticas	101	51	166
	Estadística	42	8	18
	Química	130	46	428
Total		567	220	874

Fuente: www.mieducacion.gov.co/portal/consultas-publicas/programas (consultado el 26 de noviembre de 2020).

En las tres áreas mencionadas también existe oferta de formación a nivel de maestría y doctorado. Para el año 2017 el Ministerio de Educación reportaba que en el área de ciencias médicas y de la salud se ofrecían 536 programas de maestría (129 en ciencias naturales y 329 en las ingenierías) y 23 programas de doctorado en ciencias médicas y de la salud, 58 en ciencias naturales, y 64 en ingenierías.

c) Gobernanza institucional

Dado que las áreas que impacta un proyecto de química verde son muy diversas y pueden incluir sectores como los de agroquímicos/biócidas, biocombustibles, químicos a granel, productos de consumo, cosméticos, electrónica, química fina, alimentos, metales, pinturas y protectantes, petroquímicos, farmacéuticos, plásticos y polímeros, tensoactivos, textiles y procesamiento de textiles y agua, entre otros, dependiendo del sector impactado, deberá existir representaciones tanto del sector privado correspondiente como de sus respectivas cámaras sectoriales.

Debido al alto componente de investigación y desarrollo que un proyecto de esta naturaleza involucra en sus fases iniciales, la participación del estado debe ser coordinada por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, con el acompañamiento del Ministerio de Comercio Industria y Turismo. El proyecto impactaría el Objetivo Estratégico 2 de la Política Nacional de Desarrollo Productivo (CONPES 3866), en lo relacionado con “*facilitar la transformación y diversificación del aparato productivo colombiano hacia bienes más sofisticados*”; y contribuir a cumplir la visión y metas de la industria química Colombiana al 2032, en lo relacionado con “*especializarse en la producción y el desarrollo de productos químicos acordes a los estándares de calidad de clase mundial para realizar encadenamientos productivos, integrando herramientas como nanotecnología, biotecnología, química verde, biorrefinerías y síntesis química, con capacidad de atender la demanda nacional e incrementar las exportaciones, contribuyendo al logro de los objetivos de desarrollo sostenible*” También se recomienda la participación del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), pues el proyecto impactaría directamente políticas como la de Crecimiento Verde (CONPES 3934), la estrategia de cumplimiento nacional de los ODS (CONPES 3918) y la Estrategia Nacional de Economía Circular ENEC.

d) Capacidad de involucrar al sector privado

En este proyecto en particular el sector privado es el actor principal, pues solo a través de sus empresas, el proyecto podrá llegar al mercado con éxito, en tal sentido, se propone emplear inicialmente las capacidades e infraestructuras de cada una de las Cámaras Sectoriales de la Industria que potencialmente puedan ser impactadas por este proyecto, en un esquema como el siguiente:

- Sector Farmacéutico: Vinculación con ASINFAR y AFIDRO
- Sector Cosmético: Cámara de la Industria Cosmética Aseo y Detergente
- Sector Agropecuario: Vinculación con Cámara de Protección de Cultivos de la ANDI
- Sector Alimentos: Cámara de Alimentos de la ANDI
- Sector Pecuario: Cámara de Alimentos Balanceados
- Sector Metalmeccánico: Fedemetal y el Comité Colombiano de Productores de Acero.

e) Alineación con el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022

El proyecto se alinea con los objetivos y metas trazadas en el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 y específicamente con lo dispuesto en el Pacto IV, por la Sostenibilidad, y Pacto V, por la Ciencia Tecnología e Innovación.

En el Pacto por la Sostenibilidad un proyecto de química verde aporta en *“la consecución de prácticas sostenibles y bajas en carbono y genera compromiso entre la actividad productiva, la sostenibilidad, la reducción de impactos ambientales y la mitigación del cambio climático”*.

En el pacto por la Ciencia la Tecnología y la Innovación un proyecto de química verde permitirá *“enfocar los esfuerzos de la CTeI en solucionar problemas que requieren diseños aplicados de CTeI”*.

2. Impactos potenciales

a) Aporte a los objetivos de desarrollo sostenible

El proyecto país de química verde tendría un impacto directo sobre el ODS 6, Agua limpia y Saneamiento; ODS7, Energía accesible y no contaminante; ODS9, Industria Innovación e Infraestructura; ODS12, Producción y consumo responsable; ODS13, Acción por el clima; y ODS15 Vida de ecosistemas terrestres.

b) Capacidad de lograr desarrollo territorial

El 77 % de las empresas que constituyen el sector de químicos, pinturas y barnices en Colombia corresponde a microempresas localizadas principalmente en la Ciudad de Bogotá, que concentra el 33,9% de las ventas, seguido por Cartagena, que genera el 8,1% (Colombia Productiva, 2019).

Coincidente con el anterior análisis los territorios que mayores impactos tendrían por el desarrollo de un proyecto de química verde serían la región andina y central con Bogotá y Cundinamarca y en la zona Caribe el Departamento de Bolívar (Cartagena).

c) Aporte del proyecto al proceso de recuperación PostCovid19

El gobierno de Colombia prepara (diciembre del 2020) un documento de política pública (en proceso de discusión) sobre la política de recuperación económica en etapa pospandemia de COVID-19. De ser aprobada esta nueva política pública, el proyecto de química verde estaría alineado con tres de los objetivos de recuperación pospandemia de COVID-19 en el país, a saber:

- i) Encadenamientos Productivos BIO
 - ii) Portafolio de Inversiones en nuevos negocios de bioeconomía
 - iii) Fomento de bioinsumos
- d) Convergencia tecnológica**

Este proyecto se vería altamente beneficiado con la adopción de tecnologías vinculadas a la Inteligencia Artificial (IA) y a la Genómica. La IA para apoyar la selección de moléculas y de nuevas vías de síntesis (screening) de los compuestos que se propongan como parte del portafolio de química verde. Y la genómica, porque las rutas tradicionales de síntesis química pueden ser reemplazadas por las nuevas rutas biosintéticas, que utilizan material vegetal y/o microorganismos como su insumo principal.

Bibliografía

- Agrawala, S., Adholeyaa, A., Barrowb, C. J., Deshmukha, S. K. (2018), "Marine fungi: An untapped bioresource for future cosmeceuticals". *Phytochemistry Letters* 23: 15–20.
- Agudelo, I, D. y Eljach, G. (2020), "Colombia Hacia una seguridad Farmacéutica. Memorias de la Audiencia Pública". Serie Política de Ciencia Tecnología e Innovación para construir bienes públicos esenciales. Congreso de la República. Academia Colombia de Ciencias Exactas Físicas, y Naturales ACCEFYN. PROCOLOMBIA, Bogotá, Colombia.
- Aramendis, R. H. (2020), "Fortalecimiento de los sectores o clústeres de biotecnología médica y/o biomedicina en la región. El Caso Colombia en el marco de la Pandemia por el Virus SARS-Cov-2". Informe Final de Consultoría. Naciones Unidas/CEPAL. Cooperación Alemana. Deutsche Zusammenarbeit, Bogotá Colombia.
- _____(2019), "Casos de éxito del Desarrollo de Biorrefinerías en América Latina". Seminario. CIEMAT/AECID. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.
- Aranceta, J y Serra, LI (s/f), "Guía de los Alimentos Funcionales". Sociedad Española de Nutrición Comunitaria (SENC), Instituto Omega 3. España.
- Arango, M.C (2019), "Panorama energético de Colombia". Actualidad económica y sectorial Estrategia Sector Recursos Naturales, Infraestructura y Transporte Vicepresidencia de Empresas y Gobierno. Grupo Bancolombia S.A. Bogotá [En Línea] Disponible en: <https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/empresas/capital-inteligente/especiales/especial-energia-2019/panomara-energetico-colombia>.
- Augoustaki, D.F y Xydis, G. (2020), "Indoor Vertical Farming in the Urban Nexus Content: Business Growth and Resource Savings". *Sustainability* 2020, 12(5), 1965; <https://doi.org/10.3390/su12051965q>.
- Baptiste B (2020), "Soberanía Farmacéutica, Soberanía Tecnológica y biodiversidad. Una apuesta a futuro para Colombia". En: Colombia Hacia una seguridad Farmacéutica. Memorias de la Audiencia Pública. Serie Política de Ciencia Tecnología e Innovación para construir bienes públicos esenciales. Congreso de la República. Academia Colombia de Ciencias Exactas Físicas, y Naturales ACCEFYN. PROCOLOMBIA, Bogotá, Colombia.
- Bioplat Plataforma Tecnológica y de Innovación Española (2020), "Biomasa para la Bioeconomía", Home BIOPLAT – La Plataforma Tecnológica y de Innovación Española 'Biomasa para la Bioeconomía'. [En Línea]. Disponible en: <https://bioplat.org/> (consultado 14 de octubre de 2020).

- Camacho, J.H, Rubiano, Y, Hurtado M del P (2014), "Near-infrared (NIR) diffuse reflectance spectroscopy for the prediction of carbon and nitrogen in an Oxisol". En: *Agronomía Colombiana* 32(1), 86-94.
- Castaño D.M. (2020), "La Construcción de la Seguridad y soberanía farmacéutica en Colombia. Una visión desde la Universidad Nacional de Colombia". En: *Colombia Hacia una seguridad Farmacéutica. Memorias de la Audiencia Pública. Serie Política de Ciencia Tecnología e Innovación para construir bienes públicos esenciales. Congreso de la República. Academia Colombia de Ciencias Exactas Físicas, y Naturales ACCEFYN. PROCOLOMBIA, Bogotá.*
- Castellanos J.C (2020), "Seguridad farmacéutica: lecciones desde la historia y los estudios políticos comparados". En: *Colombia Hacia una seguridad Farmacéutica. Memorias de la Audiencia Pública. Serie Política de Ciencia Tecnología e Innovación para construir bienes públicos esenciales. Congreso de la República. Academia Colombia de Ciencias Exactas Físicas, y Naturales ACCEFYN. PROCOLOMBIA, Bogotá, Colombia.*
- Cataño C. E. (2020), "La formación y rol del profesional farmacéutico en el marco de la actual Política Farmacéutica Nacional (PFN)". En: *Colombia Hacia una seguridad Farmacéutica. Memorias de la Audiencia Pública. Serie Política de Ciencia Tecnología e Innovación para construir bienes públicos esenciales. Congreso de la República. Academia Colombia de Ciencias Exactas Físicas, y Naturales ACCEFYN. PROCOLOMBIA, Bogotá, Colombia.*
- CCB Cámara de Comercio de Bogotá (2019), "Estudio de identificación y medición de Brechas de Capital Humano y Prospectiva Laboral. Sectores farmacéutico y cosméticos". Clúster Bogotá Farmacéutico. Bogotá.
- CENICANA (2018), "Agroindustria de la caña fue reconocida por el uso de las TIC en sus procesos productivos". [En Línea]. Disponible en: <https://www.cenicana.org/agroindustria-de-la-cana-fue-reconocida-por-el-uso-de-las-tic-en-sus-procesos-productivos/> (Consultado: 24 de septiembre de 2020).
- Colombia Productiva (2019), "Plan de Negocios Sector de Químicos Visión 2032". Ministerio de Comercio. Bogotá.
- CONPES - Consejo Nacional de Política Económica y Social) (2020a), "Política Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación 2021-2030". Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación, Departamento Nacional de Planeación. Bogotá, Colombia. Septiembre 2020 (en Discusión).
- _____ (2020b), "CONPES 3990. Colombia Potencia Bioceánica 2030". Departamento Nacional de Planeación DNP. Bogotá, Colombia.
- _____ (2018a), "CONPES 3918. Estrategia para la Implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en Colombia". Departamento Nacional de Planeación. DNP. Bogotá, Colombia.
- _____ (2018b), "CONPES 3934 Política de Crecimiento Verde 2018-2030". Departamento Nacional de Planeación DNP. Bogotá, Colombia.
- _____ (2016a), "CONPES 3866 Política Nacional de Desarrollo Productivo 2016-2025". Departamento Nacional de Planeación. DNP. Bogotá. Colombia.
- _____ (2016b), "CONPES 3874 Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2030". Departamento Nacional de Planeación. DNP. Bogotá. Colombia.
- _____ (2012), "Política Farmacéutica Nacional CONPES 155". Presidencia de la República. Departamento Nacional de Planeación, Bogotá. Colombia.
- CYTED - Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (2020a), "Red Iberoamericana de Tecnologías De Biomasa Y Bioenergía Rural (REBIBIR)". [En Línea]. Disponible en: <http://www.cytel.org/es/rebibir> (consultado 14 de octubre de 2020)
- _____ (2020b), "Red de Optimización de los procesos de extracción de biomasa sólida para uso energético-IBEROMASA". [En Línea]. Disponible en: <http://www.cytel.org/es/iberomasa> (consultado 14 de octubre de 2020).
- DANE - Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas) (2020a), "Boletín Técnico Encuesta de Sacrificio de Ganado (ESAG) I trimestre de 2020". DANE. Bogotá, Colombia.
- _____ (2020b), "Boletín Técnico Cuenta ambiental y económica de flujos de materiales – residuos sólidos 2017– 2018p". DANE. Bogotá, Colombia.
- _____ (2019), "Encuesta Nacional Manufacturera. Materias primas, materiales y empaques consumidos y comprados según tipo de artículo". Actualización a diciembre de 2019. DANE. Bogotá, Colombia.

- De Jong, E., Stichnothe, H., Bell, G. y Jorgensen, H (2020), "Bio-based chemicals - a 2020 update". Technology Collaboration Programme. IEA Bioenergy: Task 42: 2020: 01.
- Delgado L. C (2020), "La necesidad del fortalecimiento institucional por parte del Estado del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación". En: Colombia Hacia una seguridad Farmacéutica. Memorias de la Audiencia Pública. Serie Política de Ciencia Tecnología e Innovación para construir bienes públicos esenciales. Congreso de la República. Academia Colombia de Ciencias Exactas Físicas, y Naturales ACCEFYN. PROCOLOMBIA, Bogotá, Colombia.
- DNP Departamento Nacional de Planeación (2019), "Plan Nacional de Desarrollo Pacto por Colombia. Pacto por la Equidad 2018-2022", Bogotá. Colombia.
- Duque, C., Puyana, M., Osorno, O y Zea, S (2003), "Visión Retrospectiva de Las Investigaciones En Productos Naturales Marinos en Colombia Durante los Últimos Quince Años". En: El Mundo Marino de Colombia: Investigación y Desarrollo de Territorios Olvidados (pp.313-329) Edición: 1. Montañez, G., Campos, N. H., Avella, F y Polanía, J (Eds.). Unibiblos. Universidad Nacional de Colombia.
- EPA Environmental Protection Agency (2020), "Basic of Green Chemistry". [EN Línea]. Disponible en: <https://www.epa.gov/greenchemistry/basics-green-chemistry> (Consultado 20 de noviembre de 2020).
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) y PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) (2020), "El estado de los bosques del mundo 2020, Los bosques, la biodiversidad y las personas". Roma. Disponible en: <https://doi.org/10.4060/ca8642es> (consultado 10 de octubre de 2020).
- Ferraro, V., Cruz, I. B., Jorge, R. F., Malcata, F. X., Pintado, M. E., & Castro, P. M. L. (2010), "Valorisation of natural extracts from marine source focused on marine by-products: A review". *Food Research International*, 43(9), 2221–2233. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.07.034>.
- Flórez Martínez, D. H. y Uribe Galvis, C. P. (2018), "TIC para la investigación, desarrollo e innovación del sector agropecuario", Diego Hernando Flórez Martínez y Claudia Patricia Uribe Galvis-Mosquera, (Colombia): Agrosavia.
- Forero C. P (2020), "Fallas del mercado y de la acción colectiva internacional: ¿hay alternativas. En: Colombia Hacia una seguridad Farmacéutica". Memorias de la Audiencia Pública. Serie Política de Ciencia Tecnología e Innovación para construir bienes públicos esenciales. Congreso de la República. Academia Colombia de Ciencias Exactas Físicas, y Naturales ACCEFYN. PROCOLOMBIA, Bogotá, Colombia.
- Gálvez A. y Hernández, I. (2019), "Bioeconomía en México". En: Bioeconomía: Hodson de J.E, Henry G, Trigo E. Nuevo marco para el crecimiento sostenible en América Latina. Pontificia Universidad Javeriana.
- García L.A (2020), "La necesidad imperativa de construir seguridad farmacéutica en Colombia". En: Colombia Hacia una seguridad Farmacéutica. Memorias de la Audiencia Pública. Serie Política de Ciencia Tecnología e Innovación para construir bienes públicos esenciales. Congreso de la República. Academia Colombia de Ciencias Exactas Físicas, y Naturales ACCEFYN. PROCOLOMBIA, Bogotá, Colombia.
- Gaviria A (2020), "Requerimientos esenciales en la construcción de una política de Seguridad Farmacéutica para Colombia". En: Colombia Hacia una seguridad Farmacéutica. Memorias de la Audiencia Pública. Serie Política de Ciencia Tecnología e Innovación para construir bienes públicos esenciales. Congreso de la República. Academia Colombia de Ciencias Exactas Físicas, y Naturales ACCEFYN. PROCOLOMBIA, Bogotá, Colombia.
- Giha. Y. T (2020), "Planteamientos y retos en la construcción de capacidades institucionales para la seguridad farmacéutica". En: Colombia Hacia una seguridad Farmacéutica. Memorias de la Audiencia Pública. Serie Política de Ciencia Tecnología e Innovación para construir bienes públicos esenciales. Congreso de la República. Academia Colombia de Ciencias Exactas Físicas, y Naturales ACCEFYN. PROCOLOMBIA, Bogotá, Colombia.
- Hamed, S. M., Abd El-Rhman, A. A., Abdel-Raouf, N., & Ibraheem, I. B. M. (2018), "Role of marine macroalgae in plant protection & improvement for sustainable agriculture technology". *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(1), 104–110. <https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2017.08.002>.
- Hodson de Jaramillo E. (2014), "Towards a Latin América and Caribbean. Knowledge Based Bioeconomy in Partnership with Europe". Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. Colombia.

- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (2020), "Programa de Transformación Productiva Regional". [En Línea] Disponible en: <https://www.mincit.gov.co/minindustria/estrategia-sectorial/programa-transformacion-productiva-regional>.
- _____(2019a), "Plan de Negocios Sector Farmacéutico. Visión a 2032". Programa Colombia Productiva & Price Waterhouse Coopers. Bogotá, Colombia.
- _____(2019b), "Plan de Negocios. Sector de Químicos. Visión a 2032". Programa Colombia Productiva. Gobierno de Colombia, Bogotá, Colombia.
- _____(2018), "Programa de Transformación Productiva 2008 – 2018, diez años de desarrollo productivo". Bogotá, Colombia. [En línea] Disponible en: <https://www.colombiaproductiva.com/CMSPages/GetFile.aspx?guid=611b5ce6-82fd-47af-ba3f-6906dc2fboff>.
- Ministerio de Salud y Protección Social (2013), "Comparación entre la 18ava lista modelo de medicamentos esenciales de la OMS y la lista de medicamentos del Plan Obligatorio de Salud de Colombia Resolución 5521 de 2013". Dirección de Regulación de Beneficios, Costos y Tarifas del Aseguramiento en Salud. Bogotá.
- _____(2014), Resolución 5521 de 2013. Por la cual se define, aclara y actualiza integralmente el Plan Obligatorio de Salud (POS). Bogotá, Colombia.
- Misión Internacional de Sabios por la Ciencia, la Tecnología, la Innovación y la Educación (2019), "Colombia Hacia una Sociedad del Conocimiento". Informe de la Misión Internacional de Sabios 2019 por la educación, la ciencia, la tecnología y la innovación. Gobierno de Colombia. Bogotá.
- Nizami, A.S., Rehan, M., Waqas, M., Naqvi, M., Ouda, O.K.M., Shahzad, K., Miandad, R., Khan, M.Z., Syamsiro, M. y Ismail, I.M.I., Pant, D (2017), "Waste biorefineries: Enabling circular economies in developing countries". *Biores Technol*, 241, 1101-1117.
- Ocampo L. C et al. (2019), "Applied research in biotechnology as a source of opportunities for green chemistry start-ups". *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. (11): 1-45.
- OMS Organización Mundial de la Salud (2020), "Datos y Cifras – 10 datos sobre los medicamentos esenciales". [En Línea]. Disponible en : https://www.who.int/features/factfiles/essential_medicines/essential_medicines_facts/es/index9.html (consultado 4 de octubre de 2020).
- Parisi, C (2020), "Distribution of the bioBased industry in the EU". Publications Office of the European Union. ISBN 978-92-76-16408-1, doi:10.2760/745867, JRC119288.
- _____(2018), "Research Brief: Biorefineries distribution in the EU". European Commission - Joint Research Centre.
- Peralta, J.J (2020), "Valoración de la biomasa como fuente energética distribuida para sistemas de secado de pequeña escala" En: Seminario Alianzas estratégicas iberoamericanas en bioenergía: Redes de Biomasa y Residuos, su rol en la sustentabilidad energética actual y oportunidades post-COVID-19". AECID CIEMAT CYTED.
- Plataforma de Mercados Biotecnológicos (2020), "La Plataforma". [En Línea]. Disponible en: <https://mercadosbiotecnologicos.com/la-plataforma> (consultado 4 de octubre de 2020).
- Plataforma Siembra (2020), www.siembra.gov.co [En línea]. Consultada 23, 24 de septiembre de 2020.
- Posada, B.O., D. Morales-G. y W. Henao P. (2011), "Diagnóstico de la erosión costera del territorio insular colombiano". INVEMAR. Serie de Publicaciones Especiales No. 24, Santa Marta. 112p.
- Ramírez, N, Arevalo, A, y Garcia-Nunez, J.A (2015), "Inventario de la Biomasa disponible en plantas de beneficio para su aprovechamiento y caracterización fisico química de la tusa en Colombia". *Revista Palmas Volumen 36 (4) 41-54*.
- Rangel, M., & Falkenberg, M. (2015), "An overview of the marine natural products in clinical trials and on the market". *Journal of Coastal Life Medicine*, 3(6). <https://doi.org/10.12980/JCLM.3.2015JCLM-2015-0018>.
- Redbiolac, Red de Biodigestores para Latinoamérica y el Caribe (2020), "Red de Biodigestores ¿Qué hacemos? y Grupos de trabajo". [En Línea]. Disponible en: <http://www.redisa.net/index.html> (consultado 14 de octubre de 2020).
- Rembio, Red Mexicana de Bioenergía (2020), "¿Quiénes somos?" [En Línea]. Disponible en <http://rembio.org.mx/sample-page/> (consultado 14 de octubre de 2020).

- Hodson de Jaramillo E, G Henry y E Trigo (2019), "Bioeconomy New Framework for Sustainable Growth in Latin América". Pontificia Universidad Javeriana, CIRAD, IICA and European Commission, Bogotá. Colombia.
- Hoyos Acosta, M (2020), "La Colombia profunda estará conectada". Diario El Colombiano. [En Línea]. Disponible en: <https://www.elcolombiano.com/colombia/la-colombia-profunda-estara-conectada-FG13407640> (Consultado septiembre 12 de 2020).
- Innpulsa, Cluster Development y Universidad del Rosario (2018), "Iniciativas Cluster en Colombia". Instrumentos de Desarrollo Económico y Competitividad. Bogotá. Colombia.
- INVEMAR - Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés (2020a), "El Instituto". [En Línea]. Disponible en: <http://www.invemar.org.co/web/guest/quienes-somos> (Consultado 12 de noviembre de 2020).
- _____(2020b). "Laboratorio de Bioprospección Marina-LABBIM". [En Línea]. Disponible en: <http://www.invemar.org.co/laboratorio-de-bioprospeccion-marina> (Consultado 12 de noviembre de 2020).
- _____(2020c), "Programa de Valoración y Aprovechamiento de los Recursos Marinos y Costeros". [En Línea]. Disponible en: <http://www.invemar.org.co/web/guest/descripcion-var> (Consultado 12 de noviembre de 2020).
- _____(2020d), "Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia, 2019". Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. 183 p.
- Kunar M & Ding H (2020), "A Sustainable Ocean Economy for 2050. Approximating Its Benefits and Costs". High Level Panel for a Sustainable Ocean Economy. World Resources Institute.
- Lizarazo, I. A y Alfonso, O.A. (2011), "Aplicaciones de la agricultura de precisión en palma de aceite 'Elaeis Guineensis' e híbrido O x G". En: Revista de Ingeniería. Universidad de los Andes. N. 33. Bogotá. Colombia.
- López, J.C N., Acedos M.G y Ruiz B (2020), "Biorrefinerías: El futuro para la transición hacia la Bioeconomía Circular". En Bioenergía. Industria Química, 50-57.
- López, J.J. (2019), "Una mirada a la nueva lista de medicamentos esenciales de la OMS". [En Línea]. UN Periódico Digital. Disponible en: <https://unperiodico.unal.edu.co/pages/detail/una-mirada-a-la-nueva-lista-de-medicamentos-esenciales-de-la-oms/> (Consultado 29 de septiembre de 2020).
- Lucuara, J. (2021), "Cenicaña". (Comunicación personal).
- Luengas, C.A Leiva F.R. (2008), "Effect of Agricultural intervention on the spatial variability of some soils chemical properties in the eastern plains of Colombia". En: Chilean Journal of Agricultural Research 68 (1) 342-55.
- Mashable (2020), "This Hydroponic Farm Is Run Entirely By Robots" [video]. <https://youtu.be/q1eL7x3AMg>. Youtube.
- Melgarejo, L. M., Sánchez, J., Chaparro, A., Newmark, F. Santos-Acevedo, M, Burbano, C & Reyes, C. (2002), "Aproximación al estado actual de la bioprospección en Colombia Bogotá: Cargraphics. 334p". (Serie de Documentos Generales INVEMAR No.10) ISBN: 958-96972-9-1.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2010), "Planes de Desarrollo para cuatro sectores claves de la Agroindustria en Colombia". Diagnóstico mundial y del Sector en Colombia. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (2019), "Estrategia Nacional de Economía Circular". Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, Bogotá, Colombia. [En Línea]. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosAmbientalesySectorialyUrbana/pdf/estrategia_nacional_economia_circular/ESTRATEGIA_NACIONAL_DE_ECONOMIA_C3%8DA_CIRCULAR_MIN.pdf (Consultado el 8 de agosto de 2021).
- Min Ciencias - Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (2020a), "Expediciones Bio". [En Línea]. Disponible en: <https://minciencias.gov.co/portafolio/colombia-bio/expediciones> (Consultado 21 de noviembre de 2020).
- _____(2020b), "La ciencia en cifras: grupos de investigación". [En Línea]. Disponible en: <https://minciencias.gov.co/la-ciencia-en-cifras/grupos> (consultado 6 de octubre de 2020).
- _____(2020c), "Plataformas tecnológicas". [En Línea]. Disponible en: <https://www.ciencia.gob.es/portal/site/MICINN/menuitem.6f2062042f6a5bc43b3f6810d14041a0?vgnextoid=844cb292d3ff4410VgnVC M1000001do4140aRCRD> (consultado 4 de octubre de 2020).

- Restrepo S (2020), "Criterios para el debate sobre la construcción de condiciones institucionales para la investigación como mecanismo para la construcción de Seguridad Farmacéutica en Colombia". En: Colombia Hacia una seguridad Farmacéutica. Memorias de la Audiencia Pública. Serie Política de Ciencia Tecnología e Innovación para construir bienes públicos esenciales. Congreso de la República. Academia Colombia de Ciencias Exactas Físicas, y Naturales ACCEFYN. PROCOLOMBIA, Bogotá, Colombia.
- Rodríguez, M y Rodriguez A (2013), "Information and Communication Technologies for Agricultural Development in Latin América". Trends Barries and Policies. ECLAC. UN. Santiago, Chile.
- Rodríguez A.G et al. (2017), "Bioeconomía en América Latina y el Caribe". Comisión Económica para América Latina y el Caribe. CEPAL. ISSN. 1020-5179. LC/TS. 2017/96. Santiago de Chile. Chile.
- Rodríguez A.G, M. Rodrigues, y O. Sotomayor (2019), "Hacia una Bioeconomía sostenible en América Latina y el Caribe". Comisión Económica para América Latina. CEPAL. Santiago de Chile.
- Romano, G. et al (2017), "Marine microorganisms as a promising and sustainable source of bioactive molecules". Marine Environmental Research 128:58-69.
- Romero, H.M, Araque L, Forero D. (2008), "La agricultura de precisión en el manejo de la Palma de aceite". En PALMAS, V29 N.1.
- Rueda, M, Escobar Toledo, F. D, Viaña Tous, J, Castillo Navarro, H y Romero. J. A (2020), "Causas y tensiones del cambio en los ecosistemas marinos y costeros y sus servicios: Indicadores de presión". En: INVEMAR. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia, 2019. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. 183 p.
- Ruiz F. G (2020), "Metas y acciones para alcanzar la Seguridad Farmacéutica: La visión del Ministerio de Salud". En: Colombia Hacia una seguridad Farmacéutica. Memorias de la Audiencia Pública. Serie Política de Ciencia Tecnología e Innovación para construir bienes públicos esenciales. Congreso de la República. Academia Colombia de Ciencias Exactas Físicas, y Naturales ACCEFYN. PROCOLOMBIA, Bogotá, Colombia.
- SAC-Sociedad de Agricultores de Colombia (2018), "TIC para el Agro". Revista Nacional de Agricultura. Edición 981. Bogotá.
- Samay T (2020), "Lecciones aprendidas sobre el Fondo de Investigaciones en Salud – FIS". En: Colombia Hacia una seguridad Farmacéutica. Memorias de la Audiencia Pública. Serie Política de Ciencia Tecnología e Innovación para construir bienes públicos esenciales. Congreso de la República. Academia Colombia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales ACCEFYN PROCOLOMBIA, Bogotá. Colombia.
- Sambhudevan, S (2018), "Green Chemistry and Sustainability". Amrita Vishwa Vidyapeetham University. [En Línea]. Disponible en: <https://www.amrita.edu/news/green-chemistry-and-sustainability> (Consultado 26 de noviembre de 2020).
- Sánchez-Caro. J. (2020), "Bioética y Farmacia Comunitaria". Farmacéuticos Comunitarios. 2(1) 29-34.
- Silva, E (2020), "Evaluación de la madurez tecnológica (TRL) de las tecnologías para la generación de electricidad con biomasa". En: Seminario Alianzas estratégicas iberoamericanas en bioenergía: Redes de Biomasa y Residuos, su rol en la sustentabilidad energética actual y oportunidades post-COVID-19. AECID CIEMAT CYTED.
- Suricata SAS y Tecnalía (2019), "Informe Final. Diagnóstico sobre Beneficios y Dificultades de Bioprospección en Colombia-Arreglo Institucional para la Bioprospección y la Biotecnología-Diseño de una batería de Indicadores en Ciencia Tecnología e Innovación en Bioeconomía". Fundación Tecnalía- Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación. Bogotá. Colombia.
- The European Business Review. (2020), "Vertical Farming is the Future". [En línea]. Disponible en: <https://www.europeanbusinessreview.com/vertical-farming-is-the-future/> (consultado septiembre 12 de 2020).
- Torres M.G (2020), "La Política de Ciencia, Tecnología e Innovación al servicio de la construcción de la Seguridad Farmacéutica para Colombia". En: Colombia Hacia una seguridad Farmacéutica. Memorias de la Audiencia Pública. Serie Política de Ciencia Tecnología e Innovación para construir bienes públicos esenciales. Congreso de la República. Academia Colombia de Ciencias Exactas Físicas, y Naturales ACCEFYN. PROCOLOMBIA, Bogotá.

- Triana Barrera, K.M (2019), "Impactos ambientales generados en plantas de beneficio bovino". Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA. Bogotá.
- UdeA Universidad de Antioquia (2020), "Grupo de Productos Naturales Marinos". [En Línea]. Disponible en: <http://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/investigacion/grupos-investigacion/ciencias-naturales-exactas/productos-naturales-marinos> (Consultado 12 de noviembre de 2020).
- Univalle Universidad del Valle (2020), Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (INCIMAR). [En línea]. Disponible en: <http://incimar.univalle.edu.co/> (Consultado 12 de noviembre de 2020).
- Universidad de Cartagena (2020), "Productos Naturales". [En Línea]. Disponible en: <https://investigaciones.unicartagena.edu.co/productos-naturales> (Consultado 12 de noviembre de 2020).
- UPME Unidad de Planeación Minero-Energética (2020).
- Vaca C.P (2020), "Apuntes sobre el aparato de producción de conocimiento e innovación farmacéutica global". En: Colombia Hacia una seguridad Farmacéutica. Memorias de la Audiencia Pública. Serie Política de Ciencia Tecnología e Innovación para construir bienes públicos esenciales. Congreso de la República. Academia Colombia de Ciencias Exactas Físicas, y Naturales ACCEFYN. PROCOLOMBIA, Bogotá, Colombia.
- Van Dam, J (2016), "Subproductos de la palma de aceite como materias primas de biomasa". *Palmas*, 37 (Especial Tomo II), pp. 149-156.
- Vania G. Zuin, Aylon M. Stahl, Karine Zanotti, Mateus L. Segatto (2020), "Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry". [En Línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.100379>.
- Vaz Jr. S. (2018), "Biomass and the Green Chemistry Principles. Building a Renewable Pathway". ISBN 978-3-319-66735-5. Springer International Publishing A.G. Switzerland.
- Viceministerio de Ambiente (2011), "Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible". Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá. [En línea] Disponible en https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Programa_y_consumo_sostenible/polit_nal_produccion_consumo_sostenible.pdf
- WHO World Health Organization. (2019), "The Selection and Use of Essential Medicines 2019". Report of the 22nd WHO Expert Committee on the Selection and Use of Essential Medicines WHO Headquarters, Geneva.
- Young M (2018), "The Age of Digital Agriculture". The Climate Corporation.



NACIONES UNIDAS

Serie

CEPAL

Recursos Naturales y Desarrollo**Números publicados**

Un listado completo así como los archivos pdf están disponibles en
www.cepal.org/publicaciones

206. Oportunidades de la bioeconomía para la recuperación pospandemia de COVID-19: un análisis basado en las recomendaciones de la Misión Internacional de Sabios Colombia 2019, Rafael H. Aramendis y Adrián G. Rodríguez, (LC/TS. 2021/103), 2021.
205. Políticas regulatorias y tarifarias en el sector de agua potable y saneamiento en América latina y el Caribe, Diego Fernández, Silvia Saravia Matus y Marina Gil, (LC/TS. 2021/81), 2021.
204. Análisis comparativo de acciones con enfoque del Nexo Agua-Energía-Alimentación: lecciones aprendidas para los países de América Latina y el Caribe, Bárbara A. Willaarts, Elisa Blanco, Alba Llavona y Diego Martínez (LC/TS. 2021/18), 2021.
203. Lecciones del Estado Plurinacional de Bolivia para la adopción del enfoque del Nexo: análisis del Plan Nacional de Cuencas, el Sistema Múltiple Misicuni y las políticas de riego, Alba Llavona (LC/TS.2020/168), 2020.
202. Lecciones de Chile para la adopción del enfoque del Nexo: análisis de políticas de fomento de tecnologías de riego, gestión integrada de cuencas, fondos de agua y energía sostenible. Elisa Blanco (LC/TS.2020/164), 2020.
201. Tendencias estructurales en la agricultura de América Latina: desafíos para las políticas públicas, Mina Namdar-Irani, Octavio Sotomayor, Mónica Rodrigues, Adrián Rodríguez y Paul Wander (LC/TS.2020/156), 2020.
200. Balanza comercial física e intercambio, uso y eficiencia de materiales en América Latina y el Caribe, Mauricio León, José Luis Lewinsohn y Jeannette Sánchez (LC/TS.2020/150), 2020.
199. Análisis de las tarifas del sector eléctrico: los efectos del COVID-19 y la integración energética en los casos de la Argentina, Chile, el Ecuador, México y el Uruguay, Rubén Contreras Lisperguer (LC/TS.2020/146), 2020.
198. Desafíos hídricos en Chile y recomendaciones para el cumplimiento del ODS 6 en América Latina y el Caribe, Silvia Saravia Matus, Marina Gil, Elisa Blanco, Alba Llavona y Lisbeth Naranjo (LC/TS.2020/134), 2020.
197. Guía metodológica: diseño de acciones con enfoque del Nexo entre agua, energía y alimentación para países de América Latina y el Caribe, Lisbeth Naranjo y Bárbara Willaarts (LC/TS.2020/117), 2020.

RECURSOS NATURALES Y DESARROLLO

Números publicados:

- 206 Oportunidades de la bioeconomía para la recuperación pospandemia de COVID-19
Un análisis basado en las recomendaciones de la Misión Internacional de Sabios Colombia 2019
Rafael H. Aramendis
Adrián G. Rodríguez
- 205 Políticas regulatorias y tarifarias en el sector de agua potable y saneamiento en América Latina y el Caribe
Diego Fernández
Silvia Saravia Matus
Marina Gil
- 204 Análisis comparativo de acciones con enfoque del Nexo Agua-Energía-Alimentación
Lecciones aprendidas para los países de América Latina y el Caribe
Bárbara A. Willaarts
Elisa Blanco
Alba Llavona
Diego Martínez

