



ANEXO 5. Análisis de biodiversidad.

Enero 24 de 2018

Entidades líderes



Entidades de apoyo



Entidades patrocinadoras



Contenido

Resumen Ejecutivo	1
1. Estado del arte y principales hallazgos	3
Relación entre la biodiversidad y la humanidad	3
Biodiversidad y Bioeconomía en América Latina y el Caribe	3
Biodiversidad en Colombia	4
Biodiversidad Genética.....	6
Información internacional sobre desarrollos económicos basados en ecosistemas y biodiversidad.	7
2. Descripción de indicadores relacionados	12
Focos estratégicos de la biodiversidad y servicios ecosistémicos.....	12
Matriz de indicadores para toma de decisiones.	13
Resultados obtenidos en Colombia para cada indicador: criterio ambiental ..	14
Variable: Aprovechamiento.....	14
Variable: Cultural	19
Variable: Regulación	20
3. Recomendaciones.....	21
4. Bibliografía	22

Resumen Ejecutivo

El concepto de bioeconomía basado en conocimiento es una respuesta a los grandes desafíos globales. Los desarrollos en bioeconomía están orientados a la conservación y al uso sostenible de la biodiversidad por medio de la promoción del comercio, de la inversión en productos y servicios y a reducir la dependencia de combustibles fósiles y recursos no renovables. Está dirigido a transformar los conocimientos de las ciencias de la vida en productos nuevos, sostenibles, ecoeficientes y competitivos. En términos generales, uno de los componentes principales de los desarrollos en bioeconomía basado en conocimiento, es la capacidad de los Recursos Naturales Renovables para la producción de biomasa y su posterior transformación en productos útiles. Es por esto que la región de América Latina y el Caribe, y con ello particularmente Colombia, es llamado a desarrollar activa y progresivamente una economía basada en el uso de los recursos biológicos, gracias a la extraordinaria riqueza de recursos naturales, en términos de agua, tierra y biodiversidad. De acuerdo con el Sistema de Información de la Biodiversidad Colombiana (SIB), más del 50% del país se encuentra protegida, área que comprende alrededor de 55.000 especies de flora y fauna, razón por la cual Colombia es considerado como un país megadiverso. Así mismo, Colombia hace parte y contiene dos de las biorregiones con mayor biodiversidad del mundo: Amazonía (con más de 6 millones de km²) compartida entre Brasil, Perú, Colombia, Venezuela, Ecuador, Guyana, Surinam y Guayana Francesa y la biorregión del pacífico, la cual es 99% de Colombia y el resto es compartida entre Ecuador y Panamá.

Con el panorama anteriormente descrito, y entendiendo el creciente reconocimiento que ha ganado la biodiversidad, no sólo como expresión de las diferentes formas de vida presentes en el planeta, sino también como parte fundamental en el funcionamiento de los ecosistemas y como base del bienestar y la calidad de vida de los seres humanos, se pretendió en este componente analizar las estrategias bioeconómicas de países que hayan buscado el aprovechamiento sostenible del potencial de la biodiversidad, mediante la revisión de informes internacionales sobre desarrollos económicos de ecosistemas y biodiversidad, desarrollados por los países modelo, y de igual forma, la identificación de focos estratégicos de la biodiversidad y servicios ecosistémicos para Colombia, a partir de los cuales, se construyeron indicadores relacionados con ambiente y biodiversidad que permitieran establecer la línea base del potencial de bioeconomía para nuestro país.

A partir del potencial bioeconómico del país, se realizó un estudio de los principales países o regiones del mundo que han declarado políticas bioeconómicas para la generación de desarrollo en los territorios, modelos esenciales para la toma de decisiones en Colombia. A renglón seguido, se logró determinar para Colombia, el potencial agrícola con medición en toneladas de producto por año, y de igual forma, el nivel en Toneladas/año de biomasa producida por sectores económicos, así como la biomasa residual generada en dichos sectores, a partir de la cual se estableció el potencial bioenergético que tiene el país a partir del uso de la biomasa residual generada. De igual forma, se identificó la necesidad en demanda de agua por sector económico. Por otro lado, se determinó el Impacto ambiental evitado acorde a la emisión de gases de efecto invernadero mitigadas en toneladas de CO₂ equivalente (t CO₂eq), y

por último, el # de productos y empresas biotecnológicas disponibles en el mercado.

A partir de la información generada, se ha identificado una serie de insumos y vías que representan puntos de entrada para la implementación de una estrategia económica basada en el uso de recursos biológicos y biomasa residual en Colombia. Las múltiples experiencias de la región en campos como los cultivos genéticamente modificados, desarrollos en bioenergía, así como los avances identificados en industrias enfocadas al aprovechamiento de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, demuestran claramente las ventajas competitivas existentes.

1. Estado del arte y principales hallazgos

Relación entre la biodiversidad y la humanidad

En las últimas décadas, es creciente el reconocimiento que ha ganado la biodiversidad, no sólo como expresión de las diferentes formas de vida presentes en el planeta, sino también como parte fundamental en el funcionamiento de los ecosistemas y como base del bienestar y la calidad de vida de los seres humanos (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012). En este último aspecto, la sociedad ha llegado a comprender mejor la relación directa de la biodiversidad con la salud y el desarrollo humano, así como con su seguridad y cultura. Es por ello que hoy la biodiversidad juega un rol muy importante para hacer frente a los grandes desafíos globales: rápido crecimiento de la población, agotamiento de los recursos fósiles, el cambio climático y la protección del medio ambiente (Federal Ministry of Education and Research, 2011). En este sentido, no es sorprendente que los recursos biológicos se hayan convertido cada vez más en parte de muchos sectores de la economía.

Biodiversidad y Bioeconomía en América Latina y el Caribe

La región de América Latina y el Caribe está particularmente bien situada para contribuir y beneficiarse de la bioeconomía emergente. Su amplia y diversa fuente de recursos naturales, tales como suelo, el agua y la diversidad de organismos vivos (biodiversidad), así como con una economía emergente y el crecimiento de los recursos humanos, proporcionan un panorama a la región de crecimiento esencial para la generación de una bioeconomía sólida (CEPAL, 2015). Al hacer una mirada de manera integral, América Latina está muy bien posicionada en términos de disponibilidad agrícola. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA) han estado continuamente desarrollando la metodología "Zonas Agroecológicas" (ZAE) durante los últimos 30 años, para evaluar los recursos y el potencial agrícola, a partir de la cual han determinado que se podrían poner en producción más de 300 millones de hectáreas en Centro y Suramérica, sin afectar o poner en riesgo los bosques naturales, lo que representa entre el 28% del área potencial agrícola mundial (FAO & IIASA, 2017). Sumado a lo anterior, y partiendo del hecho que América Latina tiene solo el 16% de la extensión de la superficie terrestre del planeta, 10% de la población mundial, 33% del agua renovable mundial (hay 35 millones de km³ de recursos de agua dulce mundial) y la tasa más alta de la superficie de Tierra por habitante (Hodson de Jaramillo & Chavarriaga, 2014), el panorama para el desarrollo de una bioeconomía en la región, es muy alentador.

Un segundo aspecto de recursos clave para el desarrollo de la bioeconomía en América Latina es su biodiversidad. América latina tiene una ventaja competitiva con respecto al resto del mundo. Siete de los diecinueve países de la región son considerados "megadiversos" (Brasil, Colombia, México, Perú, Ecuador, Venezuela y Bolivia). Así mismo, la región de América Latina posee las dos biorregiones con mayor biodiversidad del mundo: Amazonía (con más de 6 millones de km²) y Chocó biogeográfico. La primera región, compartida entre Brasil, Perú, Colombia, Venezuela, Ecuador, Guyana, Surinam y Guayana

Francesa. La segunda región es 99% de Colombia y el resto es compartida entre Ecuador y Panamá (Trigo et al., 2014).

Biodiversidad en Colombia

De acuerdo con el Sistema de Información de la Biodiversidad Colombiana, más del 50% del país se encuentra protegida, área que contiene 56.343 especies de flora y fauna, razón por la cual Colombia es considerado como un país megabiodiverso (SIB, 2017). El número de especies se basa en los registros del "Global Biodiversity Information Facility" (GBIF), cifra que se encuentra en constante actualización, por lo que solo presenta un estimativo de la riqueza natural del país. Al cuantificar la biodiversidad de Colombia, se ha establecido el siguiente registro en número de especies por grupo principal de organismos: Plantas (30.736 especies), Invertebrados (20.647 especies), Vertebrados (7.385 especies), Algas (2.160 especies), Líquenes (1674 especies) y Hongos (1637 especies) (SIB, 2017).

Haciendo un zoom en el grupo más numeroso de especies de la biodiversidad de Colombia, según lo reportado en el catálogo de plantas y líquenes de Colombia (Bernal, Gradstein, & Celis, 2016), la flora colombiana en cifras, muestra que hay 22,841 especies angiospermas, 46 especies gimnospermas, 1643 helechos y afines, para un total de 24530 especies de plantas vasculares, de las cuales 769 son especies cultivables. Así mismo, se reportan 13 antocerotas, 932 musgos, 704 hepáticas y 1674 líquenes.

Es fundamental mencionar que, al establecer relaciones de biodiversidad por área territorial, según el ranking de países megadiversos, Colombia es el segundo país en biodiversidad en el mundo, dado a la riqueza de biodiversidad por kilómetro cuadrado. Adicional a ello, en el comparativo por países biodiversos, Colombia ocupa el primer lugar en diversidad de aves y anfibios, el segundo en diversidad de plantas, el tercero en reptiles, primates y mariposas y el quinto lugar en mamíferos que habitan en 314 ecosistemas. Sin embargo, hay que reconocer que a nivel de microorganismos, solo conocemos el 1% de la diversidad (la que se ha logrado cultivar) (Overmann, Abt, & Sikorski, 2017). Aunque no hay evidencias que determinen que Colombia es el país más biodiverso en este grupo, lo que se puede mencionar es que hay mucho por descubrir, debido a que la diversidad microbiana es grande y mayoritariamente desconocida.

Otro aspecto importante para resaltar de la biodiversidad colombiana, son las especies nativas, entendidas como aquellas especies que se originaron o llegaron naturalmente al país, sin la intervención del hombre. En esta categoría, solo en plantas vasculares se han determinado 24,030 especies. De igual forma, las especies endémicas, entendidas como especies que se encuentran "confinadas" a un contexto geográfico reducido (en este caso a Colombia) y que no se hallan de forma natural en ninguna otra región del mundo (SIB, 2017). Es de aclarar, que incluso en Colombia, el endemismo de las especies se presenta en diferentes relieves, lo que indica que la distribución de ciertas especies se limita a cierta cordillera o determinado valle. Como consecuencia de lo anterior, y a la diversidad de climas y relieves de Colombia, es claro el alto número de especies endémicas en fauna y flora, como por ejemplo, la rana *Phylllobates terribilis*, considerada la rana más venenosa del mundo por las toxinas que secreta. En la

actualidad, se han reportado 9153 especies endémicas de Colombia, de las cuales, 6383 especies son plantas y se presenta como el grupo más alto de este indicador. El 96% de las plantas endémicas reportadas en Colombia son plantas vasculares, lo que equivale al porcentaje reportado por Ecuador (26%) y comparable al registrado en Perú (31%) (Bernal, Gradstein, & Celis, 2016).

Con el reconocimiento mundial de la importancia de la biodiversidad para el desarrollo de la humanidad, y así mismo, a Colombia como uno de los países megabiodiversos, se ratificó en Colombia el Convenio sobre la diversidad Biológica mediante la ley 165 de 1994 (ONU, 1994). En ese marco, el país avanzó en el cumplimiento de la meta No 11 de Aichi (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2014) que propone para el año 2020, mejorar la situación de la biodiversidad, mediante la conservación de ecosistemas bajo la figura de "áreas protegidas", aumentando el 17% de las zonas terrestres y de aguas continentales, así como el 10% de las zonas marinas y costeras, especialmente aquellas de importancia para la diversidad biológica y por ende de los servicios ecosistémicos. En la misma línea, el 05 de junio de 2017 Colombia hizo parte de la conferencia sobre los océanos que tuvo lugar en la ciudad de Nueva York, donde se comprometió a incrementar la extensión en un 13% de las áreas protegidas marino costeras, 3% de la meta mundial.

Un aspecto importante para avanzar al cumplimiento de los compromisos internacionales, respecto al incremento del territorio protegido, es el conocimiento de la ruta técnica para lograrlo. Las siguientes fases son necesarias para ello: preparatoria, aprestamiento y declaratoria. Estas fases implican el reconocimiento e identificación de servicios ambientales, así como los actores, aliados y recursos, la identificación de factores biofísicos y socioeconómicos de los territorios.

Es así como Colombia en la última década, ha reconocido la importancia de la biodiversidad y con ello, la protección de sus territorios. Para contrastar, en el año 2010 Colombia tenía 13'643.334,75 ha representadas en 356 áreas protegidas, lo que equivaldría en área al territorio de Nicaragua o 2 veces el territorio de Panamá. Sin embargo, gracias a los esfuerzos nacionales dirigidos al cumplimiento de acuerdos internacionales que han priorizado la protección y uso sostenible de la biodiversidad, Colombia logró en los últimos 7 años incrementar en 602 el número de áreas protegidas, y con ello, sumó 14'765.648,25 hectáreas como objeto de conservación, por lo que las áreas protegidas del país en el año 2017, pasaron a comprender 28'408.983 ha comprendidas en 959 áreas protegidas, lo que equivale a 8 veces el territorio de Nicaragua y 15 veces el territorio de Panamá (SIB, 2017). Ver Tabla 1.

Tabla 1. Crecimiento de hectáreas (ha) y áreas protegidas en Colombia en el período comprendido entre los años 2010 y 2017. (SIB, 2017)

Año	# áreas protegidas	Hectáreas (ha) totales	# ha áreas protegidas nacionales	# ha áreas protegidas rurales	Reservas de la sociedad civil
2010	356	13'643.334,75	13'163.475	451.649,04	28.210,71

2011	429	14'878.559	13'163.475	1'685.966	29.118
2012	436	14'888.859	13'163.475	1'696.266	29.118
2013	598	16'928.648,21	15'045.500,91	1'831.817,55	51.329,75
2014	696	16'913.908,44	14'867.813,72	1'968.635,20	77.459,52
2015	723	23'617.934,98	21'369.413,72	2'171.061,74	77.459,52
2016	892	23'876.577,92	21'369.413,72	2'406.730,63	100.636,73
2017	959	28'408.983	25'755.244,55	2'859.332,02	108.969,66

Biodiversidad Genética

A pesar de todo lo anterior, aún se desconoce el potencial de la **diversidad genética de Colombia**, entendida como la diversidad de las características moleculares tales como el ADN, dentro de cada especie. Colombia es un país con enorme variedad de ecosistemas y especies, motivo por el cual es catalogado como megabiodiverso. Dado que cada especie tiene un tamaño en genoma y número de genes diferentes, no se puede extrapolar la equivalencia en número de especies con la diversidad genética, lo que sugiere una oportunidad de oro en exploración, conocimiento y uso sostenible. Conocer la diversidad genética, desde el punto de vista ecológico, es esencial para 1) emprender planes eficientes de preservación de poblaciones y con ello, mantener los ecosistemas siempre saludables, lo que redundará en servicios ecosistémicos permanentes y de "calidad". Así mismo, desde el punto de vista evolutivo, 2) la diversidad genética permite a las poblaciones de organismos adaptarse a condiciones cambiantes y resistir eventos catastróficos, lo que favorecerá, por lo tanto, la permanencia del estatus de biodiversidad en las regiones. A renglón seguido, desde el punto de vista económico, 3) es fundamental que la biodiversidad esté cimentada en diversidad genética, debido a que permite un sinnúmero de posibilidades de aplicación a nivel industrial, quienes cada vez más tienen la necesidad de usar moléculas y productos de origen biológico para reducir al mínimo su impacto sobre el ambiente.

En Colombia, la información genética ha sido poco estudiada. Sin embargo, el número de datos (secuencias genéticas) publicadas para diversos grupos biológicos, particularmente para bacterias, ha aumentado significativamente en los últimos años. La mayor parte de información sobre la diversidad genética en microorganismos y organismos eucariotas publicadas en la base de datos GenBank proceden del sector agropecuario (22%) y del sector salud (15%), mientras que la gran mayoría de los datos, se realizan alrededor de estudios ecológicos, evolutivos y/o se sistemática molecular (63%) (Arbeláez-Cortés, 2013). Temas tan relevantes como la bioprospección y la bioremediación, aún están lejos de cubrir la demanda nacional y mundial para el uso sostenible de la biodiversidad. Según información registrada a través del SIB Colombia, los grupos mejor representados tienen secuencias genéticas de apenas un 5% de las especies (Instituto Humboldt Colombia, 2015), lo que demuestra y fortalece la necesidad de aumentar estudios de este tipo.

En coherencia con este último aspecto y en relevancia con la importancia de la diversidad genética en Colombia, se declaró en el CONPES 3697 de 2011, la bioprospección (Exploración sistemática y sostenible de la biodiversidad para

identificar y obtener nuevas fuentes de compuestos químicos, genes, proteínas, microorganismos y otros productos que tienen potencial de ser aprovechados comercialmente) como estrategia de desarrollo en Colombia. Es así como, la bioprospección y la biotecnología se convierten en herramientas poderosas que amplían el espectro de uso sostenible de la biodiversidad, específicamente de los recursos biológicos, genéticos y derivados, sus componentes y propiedades. A través de ellas, se puede acelerar el proceso de búsqueda y conocimiento de moléculas, genes, o ingredientes activos, que luego pueden ser producidos industrialmente sin tener que recurrir al uso extractivo insostenible de la biodiversidad (Departamento Nacional de Planeación, 2011).

Aún conociendo todo el potencial de Colombia, referente a su biodiversidad macro, micro y genética, se debe reconocer que este país no aporta en medida significativa al desarrollo científico – económico de América Latina (a partir del uso de la biodiversidad) y mucho menos en el desarrollo científico mundial, aun cuando se reconoce la enorme ventaja competitiva que tiene el país en términos de biodiversidad.

Información internacional sobre desarrollos económicos basados en ecosistemas y biodiversidad.

Hay países que han logrado realizar desarrollos económicos basados en el uso sostenible de los recursos naturales, algunos de ellos, a pesar de no tener biodiversidad en sus territorios. A continuación, se presentan algunos hallazgos significativos en países que han realizado un desarrollo bioeconómico:

- La conservación de los bosques evita las emisiones de gases de efecto invernadero valoradas en US\$3,7 billones. Se determinó que, al reducirse a la mitad del ritmo de la deforestación, para el año 2030 las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero se reducirían entre 1,5 y 2,7 toneladas anuales de CO₂, lo que repercute en evitar daños ocasionados por el cambio climático valorados en más de US\$3,7 billones (en valor actual neto), cifra que no incluye los muchos otros beneficios asociados a los servicios ecosistémicos (Eliasch, 2008).
- La importancia de los servicios ecosistémicos de los arrecifes de coral. Aunque ocupan únicamente el 1,2% de las plataformas continentales del mundo, los arrecifes de coral albergan entre 1 y 3 millones de especies, entre las que se incluye más de la cuarta parte de todas las especies de peces marinos (Allsopp, Page, Johnston, & Santillo, 2009). Se ha determinado que cerca de 30 millones de personas en poblaciones costeras e insulares dependen completamente de los recursos proporcionados por los arrecifes coralinos como su principal fuente de alimentación, ingresos y medio de vida (Wilkinson, 2004).
- Los productos y servicios ecológicos suponen una nueva oportunidad de mercado. La demanda y el consumo de productos ecológicos ha experimentado un crecimiento considerable a partir de la segunda mitad de la década de 1990. El valor del mercado se triplicó en solo ocho años, pasando de US\$15 billones en 1999 a US\$46 billones en 2007 (Tendero A, 2011); el mercado mundial para productos pesqueros con etiqueta ecológica creció en más del 50% entre 2008 y 2009; y el ecoturismo es el

sector turístico de más rápido crecimiento con un aumento estimado del gasto global del 20% anual (TIES, 2011).

- La pesca mundial contribuye a la pérdida de US\$50.000 millones anuales, debido a la competencia entre flotas pesqueras de carácter industrial y altamente subvencionadas, junto a la escasez de regulación y la falta de cumplimiento de las normas actuales. Lo anterior, debido a la explotación excesiva de las reservas pesqueras con mayor valor comercial (TEEB, 2010).
- Suiza. la apicultura genera US\$213 millones anuales. En el año 2002, una sola colmena de abejas garantizó una producción agrícola anual de frutas y frutos del bosque valorada en US\$1050 gracias a la polinización, en comparación con los 215 dólares procedentes de los productos apícolas directos (p. ej.: miel, cera, polen) (FAO, 2009). Se logró determinar que la polinización realizada por las colmenas suizas garantizó una producción agrícola anual valorada en unos US\$213 millones, cifra cinco veces superior al valor de la producción de miel. El valor económico total de la polinización de los insectos en todo el mundo se calcula en unos EUR\$153.000 millones, lo que supuso el 9,5% de la producción agrícola mundial en 2005 (Gallai, Salles, Settele, & Vaissiere, 2009).
- Australia. La plantación de árboles mejora la calidad de la vida urbana en Camberra, Australia. Las autoridades locales de Camberra lograron plantar 400.000 árboles para regular el microclima, reducir la contaminación y así mejorar la calidad del aire urbano, reducir los costes energéticos que supone el uso del aire acondicionado y almacenar y secuestrar dióxido de carbono. Se calcula que estos beneficios suman entre US\$20 y US\$67 millones entre 2008 y 2012, en lo que respecta al valor generado o los ahorros conseguidos por la ciudad (Brack, 2002; Casey Trees & Davey Tree Expert Co., 2017).
- Continuando con los datos adoptados a nivel mundial, nueve países y regiones (incluida la Unión Europea) han desarrollado estrategias de política bioeconómica. Estas estrategias generalmente representan un enfoque más holístico para promover el desarrollo de la bioeconomía y se concentran en aprovechar todo el potencial de los recursos biológicos y procesos en todos los sectores económicos. Dichas estrategias de bioeconomía se han desarrollado para Finlandia, Alemania, Japón, Malasia, Sudáfrica, España, Estados Unidos y los países nórdicos occidentales (Wesseler & von Braun, 2017). La declaración del desarrollo bioeconómico es seguido por estrategias de investigación e innovación, estrategias de economía verde o azul, así como estrategias industriales y estrategias de alta tecnología (biotecnología).
- Unión Europea. El análisis de los datos de Eurostat muestra que el volumen de negocios de la bioeconomía total (incluidos los alimentos y las bebidas y los sectores primarios de agricultura y silvicultura) en la UE-28 resulta en EUR\$2,1 billones. Aproximadamente la mitad de esto se debe al sector de alimentos y bebidas, otra cuarta parte de la facturación es creada por los sectores primarios (agricultura y silvicultura), mientras que el otro cuarto es generado por las llamadas industrias de base biológica (como productos

químicos y plásticos, productos farmacéuticos, papel y productos de papel, industrias forestales, sector textil, biocombustibles y bioenergía) (Ver Anexo 1) (Piotrowski, Carus, & Carrez, 2016). De igual forma, para el análisis del mismo período, se generaron 18.1 millones de empleo en la Unión Europea, siendo agricultura y productos alimenticios, los dos sectores que más movieron este indicador (Piotrowski et al., 2016).

- **Brasil.** El Centro Brasileño de Análisis y Planificación (Cebap), en asociación con la Asociación Brasil de Biotecnología (BrBiotec), realizó la encuesta Brasil Biotech Map 2011, con el objetivo de identificar las empresas que tienen biotecnología como actividad principal, así como como aquellas empresas que desarrollan proyectos en el área. La encuesta determinó que 237 empresas cumplieron con ese perfil y de ellas, el 63% fueron creadas en la última década.

El Estudio sobre biotecnología aplicada al sector salud en Brasil, determinó la existencia de tres conjuntos de productos en ese sector que utilizan técnicas de la biotecnología moderna: vacunas preventivas y terapéuticas; sustancias terapéuticas de base biotecnológica, como las proteínas recombinantes, anticuerpos monoclonales y hemoderivados recombinantes; y reactivos y kits de diagnóstico (Reis, Pieroni, & Barros De Souza, 2010). Las empresas que actúan en salud humana en Brasil desarrollan productos, procesos e investigaciones en segmentos como diagnóstico molecular, cultivo de tejidos, dispositivos para la terapia celular y las pruebas preclínicas y ensayos clínicos, pero pocas están orientadas al desarrollo de nuevas drogas, como las investigaciones en proteínas recombinantes, anticuerpos monoclonales, vacunas y biofármacos. Es posible afirmar que las mayores oportunidades para las empresas brasileñas de servicios en biotecnología en el área de salud se han creado en el segmento de bioinformática a partir de la secuencia genético (Dias & de Carvalho, 2017).

Respecto al sector agrícola, la liberación de la soja transgénica en Brasil en 2003, año de la creación Comisión Técnica Nacional de Bioseguridad (CTNBio), para dar apoyo técnico-consultivo al gobierno federal en lo que compete a la Política Nacional de Seguridad relacionada con los organismos genéticamente modificados (OMG). Para el año 2009, Brasil se convirtió en el segundo mayor productor en utilizar plantas modificadas genéticamente, detrás Estados Unidos, lugar que ha mantenido acorde al reporte más reciente sobre adopción y producción de cultivos agrícolas biotecnológicos (ISAAA, 2016).

En el segmento de salud animal, las empresas brasileñas con actividades biotecnológicas han actuado, principalmente, en el diagnóstico genético de animales, realizando investigación destinada al desarrollo de nuevas terapias y vacunas, así como en el mejoramiento genético de bovinos, siendo este último segmento el que proporciona una gran productividad a la cadena productiva de carne y que contribuye a que el país se consolide como el mayor exportador de carne del planeta (Dias & de Carvalho, 2017).

Otro resultado que merece destacarse es el crecimiento continuo de la bioelectricidad obtenida a partir de la biomasa de caña de azúcar en Brasil. En 2010 se generó 10.141 GWh de energía a partir de la biomasa de múltiples orígenes, en 2015 ese número fue de 22.572 GWh (116,75% de

aumento). Este volumen de energía es suficiente para abastecer más de 10 millones de residencias, además de proporcionar la reducción de 8,6 millones de toneladas en emisiones de CO₂ en la atmósfera y evitar el uso de 14% del agua en los depósitos de las hidroeléctricas (Dias & de Carvalho, 2017).

- Ecuador. La Isla de Galápagos es reconocida mundialmente como patrimonio natural de la humanidad, isla que cuenta con un sistema eléctrico frágil y vulnerable debido a que depende de los combustibles fósiles suministrados desde el continente. Buscando alternativas sostenibles y amigables con el ambiente que contribuyeran a la disminución de gases de efecto invernadero, se puso en marcha la planta de producción de aceite de piñón para la generación de electricidad en galápagos, a partir del aceite vegetal puro de *Jatropha*, procedente de la provincia de Manabí en Ecuador continental.
El Cacao es el tercer rubro agropecuario de exportación en Ecuador: logra el 5% de las exportaciones nacionales. El país cuenta con una especie muy cotizada de cacao fino caracterizado por su sabor y aroma. En este marco, el estado ecuatoriano decidió capitalizar este potencial del producto y trabajar en la creación de una marca país del Cacao fino de aroma ecuatoriano. Organizaciones comprometidas con el desarrollo agropecuario implementaron el acosta ecuatoriana el programa de rehabilitación de plantaciones añosas e improductivas de cacao fino de aroma, con la producción y uso de un biofertilizante desarrollado localmente por los productores.
- Panamá. Las fincas lecheras y porquerizas del distrito de Bugabá en la provincia de Chiriquí, en Panamá, enfrentaban el problema de no saber qué hacer con los desechos orgánicos que producían. Teniendo en cuenta esta situación, sumado al efecto nocivo de los desechos orgánicos para el medio ambiente, la cooperativa de servicios múltiples de productores de leche de Chiriquí (CooLeche RL) puso en marcha en el 2011 el programa para construir pequeñas cocinas a biogás producidos en los biodigestores instalados en las fincas.
- Bolivia. Bolivia depende de la importación de trigo y harina de trigo para su consumo interno. La producción interna de trigo logra tan solo satisfacer el 27% de la demanda interna, por lo que se afirma que el 70% del pan que se consume en Bolivia viene del extranjero. En el año 2006, la fundación "Proinpa", agencias de cooperación internacional, organismos gubernamentales, organismos no gubernamentales, y agricultores se organizaron y acordaron promover el cambio paulatino de las variedades tradicionales de trigo de ciclo largo por variedades de ciclo corto resistentes a la sequía. El proceso de generar, validar y difundir nuevas variedades de trigo de alto rendimiento y resistentes a la sequía tardó 14 años.
- India. El Departamento de Biotecnología del Gobierno de India anunció desde el año 2007 una estrategia de desarrollo biotecnológico para el desarrollo económico del país. La estrategia buscaba abordar una serie de desafíos en términos de I+D; creación de capital de inversión;

transferencia de tecnología, absorción y difusión; régimen de propiedad intelectual; normas de regulación y acreditación; capital humano a medida para ciencia e innovación y comprensión pública de la biotecnología (Ministry of Science & Technology of India, 2014). Para ello, desarrolló competencias de primer nivel en tecnologías directamente relevantes para la creciente bioeconomía usando para ello tecnologías existentes (por ejemplo, ingeniería genética, sistemas de alto rendimiento para análisis de ADN y ARN, espectrometría de masas), tecnologías emergentes (por ejemplo, biología sintética, biología de sistemas, bioinformática para el descubrimiento de datos intensivos, proteómica avanzada, imágenes avanzadas) y vinculado de forma efectiva ciencia fundamental con otras ciencias y tecnologías para nuevas aplicaciones biológicas (por ejemplo, nanociencia, ciencia de materiales, biología química, biología física, TIC). Así mismo, fomentó la investigación de descubrimiento inspirada en el uso de los recursos naturales, incrementó la inversión en el sector y fomentó alianzas entre gobierno y el sector privado, lo que conllevó a nuevas legislaciones para flexibilizar el uso de los recursos naturales. Definió como sectores priorizados la agricultura y producción de alimentos, la salud humana y el bienestar, la biotecnología para la salud animal, la acuicultura y biotecnología marina, energías limpias, entre otros.

Los modelos presentados anteriormente han servido como referentes para otros países y como consecuencia, gradualmente los productos derivados de la diversidad biológica están produciendo cambios sustanciales en muchos campos de acción, entre los cuales vale la pena mencionar la agricultura, la ganadería, la medicina, energía, cosmetología, procesos industriales, el medio ambiente, entre otros.

2. Descripción de indicadores relacionados

Focos estratégicos de la biodiversidad y servicios ecosistémicos.

El criterio ambiental se presenta como uno de los criterios fundamentales para el desarrollo de la bioeconomía en el mundo, en atención a que los recursos naturales y la biomasa en general, son considerados los "drivers" para el desarrollo de este sector económico. Por lo tanto, la disponibilidad de biomasa a partir de la biodiversidad o de los residuos generados de las industrias que emplean organismos vivos o sus derivados, es un factor clave de desarrollo en la bioeconomía en Colombia.

Entendido lo anterior, y considerando a Colombia como uno de los países más biodiversos del mundo, se puede manifestar que las condiciones están dadas para que el criterio ambiental y sus indicadores derivados, permitan identificar claramente los sectores priorizados para el desarrollo de la bioeconomía en este país. Lo anterior, teniendo en cuenta el creciente reconocimiento que ha ganado la biodiversidad, no solo como expresión de las diferentes formas de vida presentes en el planeta, sino también como la base del bienestar y la calidad de vida de los seres humanos. Los vínculos entre la naturaleza y la economía suelen describirse mediante el concepto de servicios ecosistémicos o flujos de valor a disposición de las sociedades humanas gracias al estado y la cantidad del capital natural (TEEB, 2010). En la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio se definieron cuatro categorías de servicios ecosistémicos considerados indispensables para la supervivencia de la vida humana en el planeta, algo solo posible si se garantiza la estructura y el funcionamiento de la biodiversidad. Se ha considerado que las actividades humanas de producción, extracción, asentamiento y consumo, así como el bienestar de nuestras sociedades, dependen directamente de los servicios ecosistémicos, ellos son:

- Servicios de Soporte: Son servicios y procesos ecológicos necesarios para el aprovisionamiento y la existencia de los demás servicios ecosistémicos. Estos servicios se evidencian a escalas de tiempo y espacio mucho más amplias que los demás, ya que incluyen procesos como la producción primaria, la formación del suelo, la provisión de hábitat para especies, el ciclado de nutrientes, entre otros.
- Servicios de Regulación: Son los beneficios resultantes de la regulación de los procesos ecosistémicos, incluyendo el mantenimiento de la calidad del aire, la regulación del clima, el control de la erosión, el control de enfermedades humanas y la purificación del agua.
- Servicios de Aprovisionamiento: Constituidos por el conjunto de bienes y productos que se obtienen de los ecosistemas como alimentos, fibras, maderas, leña, agua, suelo, recursos genéticos, pieles, mascotas, entre otros.
- Servicios Culturales: Son los beneficios no materiales obtenidos de los ecosistemas, a través del enriquecimiento espiritual, belleza escénica, inspiración artística e intelectual, el desarrollo cognitivo, la reflexión, la recreación y las experiencias estéticas.

Matriz de indicadores para toma de decisiones.

A partir de los conceptos definidos anteriormente, y más precisamente, de los servicios ecosistémicos reconocidos mundialmente como potenciales beneficios encontrados en el uso de la biodiversidad (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012), se construyó una matriz de indicadores (Tabla 2) que permitió llevar a la priorización de sectores económicos en los cuales la bioeconomía de Colombia pueda ser desarrollada. A manera de listado tentativo, se presentan los indicadores agrupados por servicios ecosistémicos que permitieron evaluar el desarrollo y/o potencial de la bioeconomía en Colombia.

Tabla 2. Indicadores definidos acorde al uso potencial de la biodiversidad (criterio ambiental) distribuidos a partir de los servicios ecosistémicos (aprovisionamiento, regulación, cultural). Se mencionan las principales fuentes consultadas para obtención de línea base de información en Colombia.

Ámbito/criterio Ambiental		
Variable	Indicador	Fuente
Aprovisionamiento	<ul style="list-style-type: none"> -# Especies de la biodiversidad y por grupo biológico -# Cultivos agrícolas biotecnológicos -Nivel de producción por cultivo frutas, hortalizas, agroindustriales, forestales, (Tn) -Productos postcosecha registrados y disponibles en el mercado (# y tipo) -Uso agua en Millones de Metros Cúbicos (Mm³) por sector -Tn de biomasa por desechos -Tn de biomasa forestal y derivados agrícolas -TJ/año de bioenergía generada -Productos biotecnológicos en el mercado (biofarmacéuticos, biopolímeros, etc) (# y tipo) 	SIB Colombia ICA, DANE SIC, IDEAM, SI3EA, Min Minas y Energía, MinSalud, INVIMA, MinComercio
Cultural	<ul style="list-style-type: none"> -# Empresas ecoturísticas -Definición de potencial ecoturístico (#actividades, #PNN, #especies) 	DANE, FIDUCOLDEX, MinComercio, PNN.

Regulación	-Ha bosque protegidas -CO ₂ fijado (Mg/ha) -(%) Emisiones O ₂ -% reducción sedimentación de suelos por área.	MinAmbiente IDEAM, INVIMA, ICA, Minsalud, MinAgricultura, MinProtección.
------------	---	--

Resultados obtenidos en Colombia para cada indicador: criterio ambiental

A continuación se relacionan los resultados para cada indicador definido para el criterio ambiental, acorde a la disponibilidad de información en fuentes secundarias para Colombia.

Variable: Aprovisionamiento.

de especies por grupo biológico

En la tabla 2, se presenta la relación de especies reportadas por grupo biológico. Se debe reconocer que la diversidad de organismos biológicos es la base fundamental de desarrollo de la economía en Colombia.

Tabla 2. Número de especies reportadas por grupo biológico (SIB, 2017).

Grupo Macro	Subgrupo representativo	Número de especies reportadas
Vertebrados	Mamíferos	492
	Aves	1921
	Reptiles	537
	Anfibios	803
	peces marinos	2000
	peces dulce-acuícolas	1435
	aves migratorias	197
invertebrados	Mariposas	3274
	Hormigas	900
	moluscos marinos	1250
	esponjas marinas	1250
	Corales	139
	decápodos marinos	560
	equinodermos	296
	moluscos terrestres	650
	escarabajos	7000
	Arácnidos	1089
	decápodos terrestres	688
	Abejas	398
	Dípteros	3150

	Otros estimados	300000
Vegetales	plantas con flor	22840
	plantas sin flor	45
	Orquídeas	4270
	helechos afines	1643
	Palmas	289
	musgos y afines	1649
Hongos	macro hongos	1239
	Royas	329
	Carbones	71
Algas	Algas	1595
	algas marinas	1565
Líquenes	Líquenes	1674
Especies endémicas	Plantas	6383
	Orquídeas	1467
	Palmas	47
	Anfibios	367
	Aves	79
	Reptiles	115
	peces dulce-acuícolas	311
	Mamíferos	34
	Mariposas	350

de cultivos agrícolas biotecnológicos

Tabla 3. Número de hectáreas usadas en 2015 para la producción de cultivos genéticamente modificados o cultivos biotecnológicos (Agro-Bio, 2016).

Cultivo biotecnológico	hectáreas cultivadas
Maíz genéticamente modificado	100,109
Algodón genéticamente modificado	9,814
Clavel genéticamente modificado	12

Área (ha) cultivada fruta, hortalizas, agroindustriales, forestales, biotecnológicos

Tabla 4. Número de hectáreas usadas en 2015 por tipo de cultivo agrícola en Colombia (2015), acorde al último boletín entregado (2016) del Censo Nacional Agropecuario (DANE, 2014).

Tipo de cultivo agrícola	hectáreas cultivadas
Frutas	1,510,372
Hortalizas	430,106
Forestales	621,339
Agroindustriales	3,289,975
Cereales	986,598
cultivos biotecnológicos	109,935

Nivel de producción (Toneladas) por cultivo frutas, hortalizas, agroindustriales, forestales.

Tabla 5. Producción agrícola en número de toneladas por tipo de cultivo agrícola en Colombia (2015), acorde al último boletín entregado (2016) del Censo Nacional Agropecuario (DANE, 2014).

Tipo de cultivo	cultivo	producción en toneladas
agroindustriales	caña panelera	861,369
	Café	830,723
	Algodón	75,253
	Cacao	71,143
	Tabaco	17,832
	Otros	6,790,334
tubérculos y plátano	Papa	3,034,031
	Plátano	911,670
	Yuca	870,450
	otros (ñame, arracacha, achira)	92,275
Hortalizas	hortalizas de hoja	256,424
	hortalizas de fruto	88,886
	hortalizas de raíz	32,850
	hortalizas de flor	22,859
	hortalizas de bulbo	14,207
	hortalizas de tallo	2,031
	cebolla de rama	515,810
	Tomate	382,609
	Arveja	129,894
	Frijol	108,616
frutales	Naranja	669,187
	Aguacate	290,246
	Mango	250,528
	Banana	141,899
	Limón	132,202
	tomate de árbol	72,107
	Mandarina	70,116
	Mora	56,334
	Guanabana	40,652
	Otros	485,261

Nivel de producción (hectáreas y toneladas) por cultivo agrícola de especie nativa

Tabla 6. Producción en número de hectáreas cultivadas y toneladas cosechadas, por especie vegetal nativas en Colombia (2015), según Agronet (2017).

cultivo	# toneladas (Tn)	# hectáreas (ha)
Palma de corozo (<i>Elaeis oleifera</i>)	3'039,637.68	961,453.8
Palma amarga (<i>Sabal mauritiiformis</i>)	2520	180
Chirimoya (<i>Annona cherimola</i>)	723.25	178.5
Sacha inchi	307.02	225.4
Achiote (bija)	344.40	289
Asai (<i>Euterpe oleracea</i>)	140.4	26
Orquídeas	8	3.8

Según Ministerio de Agricultura y desarrollo rural, en el anuario estadístico publicado en Junio de 2017, con datos de 2015, se reportan las siguientes especies vegetales nativas

Cultivo	# hectáreas (ha)
Chontaduro	9857
Achiote	489
Arazá	413
Copoazu	208
Sacha inchi	191
Asai	34
Cocona	27
Higuerilla	318

Se resalta que se presentan algunas diferencias de cifras entre el Ministerio de agricultura y las reportadas por Agronet.

Uso de agua Millones de metros cúbicos (Mm³) por sectores

Tabla 7. Demanda (necesidad y uso) de agua en Colombia por sectores económicos, representada en millones de metros cúbicos por año (IDEAM, 2015).

Sector	Uso de agua en millones de metros cúbicos (Mm³)
sector agrícola	16,769
sector energético	7,737
sector pecuario	3,058
sector doméstico	2,959
Demanda total del país	35,987

Toneladas (Tn) de biomasa forestal y derivados agrícolas

Biomasa: La biomasa es la materia viva presente en la biosfera, considerada un recurso muy variado debido a su producción y origen, lo que influye directamente en sus características físicas y químicas. La biomasa es considerada esencial para mantener el equilibrio ecológico y permite enriquecer y conservar la diversidad biológica y el suelo. Ahora bien, la biomasa residual hace referencia a los subproductos derivados de las transformaciones naturales o industriales que se llevan a cabo en la materia orgánica. Algunos ejemplos son residuos de cosechas, podas de pastos, efluentes ganaderos, entre otros. A continuación, se presenta la biomasa residual en toneladas biomasa por fuente generadora (residuos agrícolas de cosecha y residuos agroindustriales). toneladas biomasa residuos producidos por año (Tn/año): Producción de biomasa residual en el Sector Agrícola: 71 '943.812 Tn/año.

Tabla 8. Producción de biomasa residual por tipo de cultivo (Ministerio de Minas y Energía, 2010).

Cultivo	Producción (Tn/año)	Tipo de residuo	Masa de residuo (Tn/año)
Palma de aceite	872,117	Cuesco	189,074
		Fibra	546,381
		Raquis de Palma	924,618
Caña de azúcar	2,615,251	Hojas	8,525,718
		Bagazo	7,008,873
Caña panelera	1,514,878	Hojas	5,680,790
		Bagazo	3,832,640
Café	942,327	Pulpa	2,008,192
		Cisco	193,460
		Tallos	2,849,596
Maíz	1,368,996	Rastrojo	1,278,642
		Tusa	369,629
		Capacho	288,858
Arroz	2,463,689	Tamo	5,789,669
		Cascarilla	492,738
Banano	1,878,194	Raquis banano	1,878,194
		Vástago banano	9,390,968
		banano de rechazo	281,729
Plátano	3,319,357	Raquis de plátano	3,319,357

		Vástago de platano	16,596,783
		Plátano de rechazo	497,903
Total	14,974,809		71,943,812

Respecto al sector pecuario, se generan en biomasa residual 105´418.066 Tn/año, acorde a los siguientes subsectores (Ministerio de Minas y Energía, 2010): Bovino: 99´168.607 Tn/año; Porcino: 2´803.111 Tn/año; y Avícola: 105´418.066 Tn/año

Tn de biomasa por desechos

Biomasa residuos sólidos orgánicos urbanos (Analizado para 12 ciudades) (Ministerio de Minas y Energía, 2010): 165.021 Tn/año

TJ/año de bioenergía generada

Tabla 9. Potencial energético de la biomasa residual, por tipo de sector (Ministerio de Minas y Energía, 2010), medida en Tera Joules por año (TJ/año). Tener en cuenta que 1kWhr es igual a 3,6x10⁶ J

Sector	TJ/año bioenergía
Agrícola	11,657.07
pecuario	117,747.90
urbano	409.85

Productos biotecnológicos en el mercado (biofarmacéuticos, biopolímeros, etc) (# y tipo)

224 empresas biotecnológicas registradas en Colombia.

En proceso un derecho de petición al INVIMA para obtener el dato exacto de productos biotecnológicos registrados y autorizados para explotación comercial.

Variable: Cultural

Definición de potencial ecoturístico

En el país se ha declarado y constituido 59 Parques Nacionales Naturales (PNN). De ellos, 10 tienen la categoría "santuarios de flora y fauna". A continuación se detalla las hectáreas protegidas en el país y las categorías.

Tabla 10. Número de hectáreas y áreas protegidas (nacionales, rurales y de la sociedad civil) (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2017)

Año	# áreas protegidas	Hectáreas (ha) totales	# ha áreas protegidas nacionales	# ha áreas protegidas rurales	Reservas de la sociedad civil
2017	959	28´408.983	25´755.244,55	2´859.332,02	108.969,66

Variable: Regulación

CO₂ fijado (Mg/ha)

Emisiones totales en toneladas de dióxido de carbono (tCO₂) debido a la deforestación, durante el período 2005 – 2010:

Transformación de bosques a uso forestal: -23'689.346 tCO₂

Transformación de bosques a uso agrícola: -8'768.201.8 tCO₂

Transformación de bosques a pastos: -55'341.105 tCO₂

Transformación de bosques a humedales: -1'643.898.1 tCO₂

Transformación de bosques a asentamientos urbanos: -10.321.5 tCO₂

Transformación de bosques a otras áreas sin cobertura vegetal: 838.176.6 tCO₂

Total: -90'286.603.4 tCO₂

Total anual: -18.057.3 Gg CO₂/año

Capturas totales de toneladas de dióxido de carbono (t CO₂) debido a la regeneración durante el período 2005 – 2010:

Transformación de bosques a uso forestal: 3'209.673.8 tCO₂

Transformación de bosques a uso agrícola: 110.212.6 tCO₂

Transformación de bosques a pastos: 28.643.8 tCO₂

Transformación de bosques a humedales: 117.262.7 tCO₂

Transformación de bosques a asentamientos urbanos: 0 tCO₂

Transformación de bosques a otras áreas sin cobertura vegetal: 39.659.4 tCO₂

Total: 3'754.024.2 tCO₂

Total anual: 750,8 Gg CO₂/año.

Reducción sedimentación de suelos por área (%)

Degradación de suelos por erosión:

40% equivalente a 45'379.058 ha de la superficie continental e insular de Colombia, presenta algún grado de degradación de suelos por erosión. De esta parte del territorio afectado:

20% (22'821.889 ha) presenta erosión ligera

17% (19'222.575 ha) erosión moderada

3% (3'063.204 ha) erosión severa

0.2% (271.390 ha) erosión muy severa.

3. Recomendaciones

A partir de la información generada, se ha identificado una serie de insumos y vías que representan puntos de entrada para la implementación de una estrategia económica basada en el uso de recursos biológicos y biomasa residual en Colombia. Las múltiples experiencias de la región en campos como los cultivos genéticamente modificados, desarrollos en bioenergía, así como los avances identificados en industrias enfocadas al aprovechamiento de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, demuestran claramente las ventajas competitivas existentes.

A continuación se presentan algunas recomendaciones:

1. Dada la limitación de información secundaria actualizada, se propone implementar políticas que permitan el levantamiento de información oportuna y detallada sobre indicadores ambientales para cada uno de los subsectores económicos de Colombia, insumo esencial para análisis y toma de decisiones.
2. Incentivar el biocomercio y la sostenibilidad de la economía mediante el uso de tecnologías de vanguardia que faciliten el uso de la vasta biodiversidad.
3. Promover el uso de bioproductos que provengan del conocimiento y uso de genes, proteínas, metabolitos y que impacten los diferentes sectores de la economía como la agricultura, la salud, la alimentación, entre otros.
4. Para sacar el máximo provecho a la biomasa residual disponible y creciente en el país, se propone fomentar la investigación y desarrollo en microorganismos que permitan y faciliten la asimilación/transformación de la biomasa, mitigando lateralmente la contaminación y generando desarrollo sostenible.
5. Desarrollar y flexibilizar las regulaciones y políticas nacionales que permitan el uso sostenible de los recursos naturales.
6. Incrementar la innovación y la articulación científico-técnológica y público-privada para desarrollar una bioeconomía sostenible en Colombia.

4. Bibliografía

- Agro-Bio. (2016). Transgénicos en el mundo, Colombia y la Región Andina. Retrieved November 11, 2016, from <http://www.agrobio.org/transgenicos-en-el-mundo-colombia-region-andina/>
- Allsopp, M., Page, R., Johnston, P., & Santillo, D. (Eds.). (2009). *State of the World's Oceans*. Dordrecht: Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9116-2>
- Arbeláez-Cortés, E. (2013). Knowledge of Colombian biodiversity: Published and indexed. *Biodiversity and Conservation*, 22(12), 2875–2906. <https://doi.org/10.1007/s10531-013-0560-y>
- Bernal, R., Gradstein, S. R., & Celis, M. (2016). *Catálogo de plantas y líquenes de Colombia: Volumen I*. (R. Bernal, S. R. Gradstein, & M. Celis, Eds.). Bogotá D.C.: Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia.
- Brack, C. L. (2002). Pollution mitigation and carbon sequestration by an urban forest. *Environmental Pollution*, S195–S200.
- Casey Trees, & Davey Tree Expert Co. (2017). National Tree Benefit Calculator. Retrieved October 29, 2017, from <http://www.treebenefits.com/calculator/>
- CEPAL. (2015). *Bioeconomía: nuevas oportunidades para la agricultura. Serie Desarrollo Productivo* (Vol. 200).
- DANE. (2014). *Censo nacional agropecuario Colombia*. Bogotá D.C.
- Departamento Nacional de Planeación. (2011). *CONPES 3697 de 2011: Política para el desarrollo comercial de la biotecnología a partir del uso sostenible de la biodiversidad*. Bogotá D.C.
- Dias, R., & de Carvalho, C. A. (2017). Bioeconomy in Brazil and in the World: Current Situation and Prospects. *Revista Virtual de Química*, 9(1), 410–430. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170023>
- Eliasch, J. (2008). *Climate Change: Financing Global Forests*. London.
- FAO. (2009). *Los polinizadores: Su biodiversidad poco apreciada, pero importante para la alimentación y la agricultura*. Túnez.
- FAO, & IIASA. (2017). *GAEZ: Zonas Agroecológicas Mundiales*. Retrieved October 29, 2017, from <http://www.fao.org/nr/gaez/es/>
- Federal Ministry of Education and Research. (2011). *National Research Strategy BioEconomy 2030—Our Route Towards a Biobased Economy*. Berlin.
- Gallai, N., Salles, J.-M., Settele, J., & Vaissiere, B. E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, 68(3), 810–821.
- Hodson de Jaramillo, E., & Chavarriga, P. (2014). Recursos Naturales en América Latina y el Caribe: una perspectiva en bioeconomía. In E. Hodson de Jaramillo (Ed.), *Hacia una bioeconomía en América Latina y el Caribe en asociación con Europa*. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana.
- IDEAM. (2015). *Estudio Nacional del Agua*. Bogotá D.C.
- Instituto Humboldt Colombia. (2015). *Biodiversidad 2015: Estado actual y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia*. Bogotá D.C.
- ISAAA. (2016). *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2016*. (ISAAA, Ed.), *ISAAA Brief* (Vol. 52). Ithaca, NY.
- Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). *Política nacional para la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos*. Bogotá D.C.
- Ministerio de Minas y Energía. (2010). *Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia*. Bogotá D.C.

- Ministry of Science & Technology of India. (2014). *NATIONAL BIOTECHNOLOGY DEVELOPMENT STRATEGY-2014* (Vol. 2014).
- ONU. (1994). *Convenio de las Naciones Unidas sobre Diversidad Biológica (Ley 165 de 1994)*.
- Overmann, O., Abt, B., & Sikorski, J. (2017). Present and Future of Culturing Bacteria Changes may still occur before final publication. *Annual Review of Microbiology*, 71 (July), 711–730. <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-090816>
- Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2017). Sistema Nacional de Áreas Protegidas – SINAP. Retrieved October 1, 2017, from <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/sistema-nacional-de-areas-protegidas-sinap/>
- Piotrowski, S., Carus, M., & Carrez, D. C. (2016). *European Bioeconomy in Figures*. Brussels.
- Reis, C., Pieroni, J. P., & Barros De Souza, J. O. (2010). Biotecnología para saúde no Brasil. *BNDES Setorial*, 32, 193–230.
- Secretaria del Convenio sobre la Diversidad Biológica. (2014). *Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020 y las Metas de Aichi*. Quebec.
- SIB. (2017). Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia. Retrieved October 29, 2017, from <https://www.sibcolombia.net/>
- TEEB. (2010). *La economía de los ecosistemas y la diversidad: incorporación de los aspectos económicos de la naturaleza. Una síntesis del enfoque, las conclusiones y las recomendaciones del estudio TEEB*. <https://doi.org/978-3-9813410-3-4>
- Tendero A, G. (2011). *Escenarios y tendencias en el consumo de productos ecológicos*. Catalunya.
- TIES. (2011). The International Ecotourism Society Annual Report 2009-2010. Retrieved October 29, 2017, from <https://issuu.com/ecotravel/docs/ties-annual-report-2009-10>
- Trigo, E., Henry, G., Sanders, J., Schurr, U., Ingelbrecht, I., Revel, C., ... Rocha, P. (2014). Hacia un desarrollo de la bioeconomía en América Latina y el Caribe. In E. Hodson de Jaramillo (Ed.), *Hacia una bioeconomía en América Latina y el Caribe en asociación con Europa* (p. 149). Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana.
- Wesseler, J., & von Braun, J. (2017). Measuring the Bioeconomy: Economics and Policies. *Annual Review of Resource Economics*, 9(1), 275–298. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100516-053701>
- Wilkinson, C. (2004). *Status of coral reefs of the world: 2004*. (C. Wilkinson, Ed.) (first). Townsville: Australian Institute of Marine Science.