

## Bioplásticos: oportunidad para el desarrollo de capacidades de innovación en Colombia

Germán Antonio Arboleda Muñoz<sup>1</sup>

Lily Marcela Palacios<sup>2</sup>

Héctor Samuel Villada Castillo<sup>3</sup>

Hugo Portela Guarín<sup>4</sup>

### RESUMEN

La crisis ambiental por la que atraviesa el planeta se ha derivado de dinámicas de consumo sumamente perjudiciales para el entorno. Entre éstas se encuentra el uso masivo de materiales plásticos derivados de petróleo, cuya degradación puede tardar cientos de años. Frente a esto, desde la comunidad científica e industrial se han buscado alternativas para tratar de mitigar el efecto negativo derivado de estos plásticos. Para esto, se han adelantado esfuerzos para desarrollar bioplásticos elaborados a partir de diversas materias primas renovables. Sin embargo, este esfuerzo ha implicado también un avance en las capacidades de ciencia, tecnología e innovación. En este sentido, un grupo de investigación de una universidad colombiana, desde hace varios años ha trabajado alrededor de la consolidación de una oferta tecnológica de empaques biodegradables. Este caso refleja las posibilidades y oportunidades que tiene para regiones como los países que conforman la Alianza del Pacífico, el fortalecimiento de procesos de desarrollo tecnológico, donde los bioplásticos pueden convertirse en ejes de transformaciones tecnológicas y sociales. El nuevo escenario de la bioeconomía donde se promueven los negocios basados en el aprovechamiento de los recursos naturales, se convierte en un importante reto para regiones donde se disponen de importantes materias primas susceptibles de ser transformadas en productos de alto valor agregado como son los bioplásticos, en donde se articulen esfuerzos alrededor del desarrollo científico y su aplicación en beneficio de los territorios.

**Palabras clave:** bioplásticos, biopolímeros, desarrollo tecnológico, bioeconomía.

<sup>1</sup> Universidad del Cauca (Colombia). Correo: garboleda@unicauca.edu.co ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2900-880X>

<sup>2</sup> Universidad del Cauca (Colombia). Correo: lilymarcelap@unicauca.edu.co ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5788-6541>

<sup>3</sup> Universidad del Cauca (Colombia). Correo: villada@unicauca.edu.co ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5557-3215>

<sup>4</sup> Universidad del Cauca (Colombia). Correo: hportela@unicauca.edu.co ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5369-0848>

## ABSTRACT

The current environmental crisis on the planet has been caused by extremely harmful consumption dynamics. These include the massive use of petroleum-based plastic materials, whose degradation can take hundreds of years. The scientific and industrial community has searched for alternatives to try to mitigate the negative effects of these plastics. To this aim, there have been efforts to develop bioplastics made from various renewable raw materials. However, these efforts have also implied an advance in the capacities of science, technology and innovation. In this sense, a Colombian university research group has been working for several years on the consolidation of a technological offer of biodegradable packaging. This case reflects the possibilities and opportunities that the strengthening of technological development processes has for regions such as the countries that make up the Pacific Alliance, where bioplastics can become axes of technological and social transformation. The new bioeconomic scenario where businesses based on the use of natural resources are promoted, becomes an important challenge for regions where there are important raw materials available that can be transformed into high value-added products such as bioplastics, and where efforts are articulated around scientific development and its application for the benefit of the territories.

**Keywords:** Bioplastics, Biopolymers, Technological development, Bioeconomy.

## 1. Introducción

Desde 1950, cerca de 8.300 millones de toneladas de plástico han sido fabricadas para satisfacer necesidades en diversos aspectos de la vida humana, y su demanda mantiene un continuo crecimiento; sin embargo, a pesar de su utilidad, en los últimos años se han incrementado y causado consigo diversas problemáticas ambientales, debido a los inadecuados procesos realizados para su aprovechamiento y/o disposición, entre ellos está el riesgo de la generación de microplásticos que pueden integrarse a las cadenas alimentarias de los seres vivos y junto a las dinámicas de descarbonización de la energía, han llamado la atención de la comunidad ambientalista de manera constante (Walker y Rothman, 2020).

Dada la complicada degradación de los residuos plásticos, alternativas como los bioplásticos elaborados a partir de materias primas favorables para la degradación, pueden convertirse en opciones claras para reducir el impacto ambiental negativo

de los plásticos tradicionales (Ríos *et al.* 2017), lo cual ha venido acompañado de un incentivo para el desarrollo de procesos de investigación para generar alternativas a los polímeros convencionales (Piñeros *et al.* 2019), cuya degradación se ha estimado en más de cien años (Karan *et al.* 2019) sumado a estrategias de alternativas de gestión de residuos (Payne *et al.* 2019).

Sin embargo, vale la pena aclarar la terminología frente a los bioplásticos, los cuales incluyen una amplia familia de materiales, dividida en tres grupos principales: de base biológica; de base biológica y biodegradable; y plásticos basados en combustibles fósiles que son biodegradables (Karan *et al.* 2019). Entre los segundos, se encuentran aquellos que derivados de biomasa como poliésteres termoplásticos de base biológica, como ácido poliláctico (PLA), polihidroxicanoatos (PHA) y poli (succinato de butileno) (PBS) obtenidos por la fermentación de materias primas de base biológica; los cuales se consideran biodegradables y no duraderos. En otra parte se encuentran los bioplásticos biobasados como biopolietileno (bio-PE), bio-propileno (bio-PP) y bio-poli (tereftalato de etileno) (bio-PET) que son duraderos (Hwang *et al.* 2020).

El surgimiento de la industria de los biopolímeros, responde a la voluntad por girar alrededor de la sostenibilidad, siendo una oportunidad para atender los múltiples desafíos que enfrenta la industria en la actualidad (Payne *et al.* 2019). Además de esto, también se asocia con una importante oportunidad de negocio, pues de acuerdo a estimaciones, Ceresana en Constanza, Alemania, el mercado mundial de bioplásticos en 2021 sería tres veces mayor que el de 2014, generando un total de USD 5,8 mil millones en ingresos (Tsang *et al.* 2019).

En este sentido, dado el carácter de bicompatibilidad, biodegradabilidad y propiedades técnicas de varios tipos de bioplásticos, su producción se ha convertido en una de las áreas de investigación más activas en los últimos años, puesto que las áreas de aplicación de estos materiales abarcan desde las industrias de envasado, materiales en aerosol, materiales para electrodomésticos, productos electrónicos, productos agrícolas, productos de automatización, medios químicos y solventes; donde la interrelación de procesos biotecnológicos representan una estrategia clave frente al aprovechamiento, por ejemplo de desperdicios de materiales primas de origen biológico y el incremento de los ingresos potenciales de toda la cadena de bioprocesamiento (Tsang *et al.* 2019).

De acuerdo a esto, la preocupación por la situación ambiental, transversal a diferentes áreas del conocimiento, ha generado un interés progresivo en investigación por parte de entes gubernamentales y privados para tratar de mitigar los efectos negativos sobre el entorno (Navia y Villada, 2013, p. 175), donde se ha profundizado el interés para la búsqueda de alternativas eficientes, técnicamente

válidas y económicamente accesibles frente a los plásticos tradicionales. Esta generación de nuevo conocimiento se ha consolidado en esfuerzos de grandes compañías a nivel mundial como Novamont, NatureWorks o Basf; así como de iniciativas académicas, como la que se realiza en el departamento del Cauca en el suroccidente de Colombia, donde la Universidad del Cauca, no ha sido ajena a lo descrito y está encabezando con el grupo de investigación de Ciencia y Tecnología de Biomoléculas de Interés Agroindustrial (Cytbia) desde hace varios años, diversas iniciativas de generación de nuevo conocimiento, desarrollo tecnológico, apropiación social del conocimiento y formación de capital humano alrededor del desarrollo de empaques biodegradables utilizando materias primas locales como el almidón de yuca.

En concordancia, este documento relaciona este caso con la intención de ejemplificar las posibilidades para el fortalecimiento investigativo y el desarrollo de procesos de innovación tecnológica, desde procesos de ciencia, tecnología e innovación (CTel), cómo un referente frente a las posibilidades que pueden compartir los países que conforman la Alianza del Pacífico, en el sentido del aprovechamiento de materias primas para la generación de apuestas de alto valor agregado que contribuyan a mitigar el efecto negativo derivado del uso masivo de plásticos tradicionales como polietileno, poliestireno y polipropileno.

## 2. Metodología

El enfoque de la investigación se orientó desde una perspectiva de investigación cualitativa donde se interpretan acciones, lenguajes, hechos funcionalmente relevantes que son ubicados desde la correlación de un amplio contexto social (Martínez, 2011). La revisión de literatura ofrece la posibilidad de identificar conceptos claves y profundizar alrededor de métodos de recolección de datos y análisis, así mismo para contar con un análisis adecuado de los resultados, a partir de la evaluación de categorías relevantes y la profundización en las interpretaciones (Hernández *et al.* 2014). Para este estudio se adelantó un proceso de revisión documental a partir de fuentes secundarias de adaptando la metodología de Serna y Serna (2015); donde se inició con el planteamiento de preguntas que orientarían la búsqueda de información, seguida de la recolección de información obtenida a partir de bases de datos como Scopus y Science Direct, sumado a documentos institucionales alrededor de procesos de ciencia, tecnología e innovación; junto con información interna proveniente del grupo de investigación Cytbia contenida en artículos de investigación, patentes de invención e informes de proyectos de investigación. A partir de esto, se desarrolló un análisis

de los documentos revisados, se generaron conclusiones lógicas a partir de la información recolectada. Se realizó un análisis inductivo-deductivo, mediante inducción, se establecieron generalizaciones a partir de lo común, y luego, de esa generalización, se dedujeron varias conclusiones lógicas (Rodríguez y Pérez, 2017).

### Oportunidades y retos

En la actualidad, se están realizando múltiples iniciativas frente a los bioplásticos sostenibles, donde la innovación dependerá del desarrollo de nuevos polímeros con características confirmadas de biodegradabilidad o sustitutos directos derivados de recursos renovables (Kumar *et al.* 2020). De igual manera, se han encontrado resultados frente a las proyecciones que se pueden establecer frente a envases biodegradables, tal es el caso del estudio adelantado por Zartha *et al.* (2015) quienes desarrollaron una metodología Delphi, con el fin de priorizar la innovación tecnológica, nuevos productos y tecnología en la producción de envases biodegradables en Colombia hasta 2032. Sus resultados se pueden observar en la Tabla 1 en donde se aprecia como empaques inteligentes o espumas hacen parte de los temas prioritarios frente a la innovación tecnológica, seguida de materias primas clave como el maíz, yuca y papa como posibles precursores de estos materiales y tecnologías asociadas a la extrusión de doble tornillo, extrusión reactiva o coextrusión.

**Tabla 1.**  
**Prospectiva de envases biodegradables en Colombia al año 2032**

Innovación tecnológica	Productos	Temas	Aditivos	Tecnologías
Recubrimiento natural	Maíz	Fibra de plátano	Glicerol	Extrusión de doble tornillo
Contenedor de alimentos	Mandioca	Fibra de caña de paja	Agentes antimicrobianos	Extrusión reactiva
Empaque activo	Papa	Celulosa microbiana	Pigmentos en polvo	Coextrusión
Películas retráctiles	Fibra de madera	Polihidroxicarbonatos (PHA)	Agentes de acoplamiento	Extrusión de película de soplado
	Desechos agroindustriales	Valerato de polihidroxibutirato (PHBV)		

Espuma Empaque inteligente Películas bioactivas	Colágeno Ácido graso Monoglicéridos	Ácido poliláctico (PLA) Celulosa micro-cristalina Biomasa húmeda de algas marinas Quitina	Moldeo por inyección Pulverización Colaminado Bioprocesos Nanotecnologías
---	---	--	---

Fuente: elaborado a partir de Zartha et al. (2015).

Lo anterior muestra que el abanico de posibilidades de desarrollo de procesos de alto valor agregado son múltiples y diversos, en donde las rutas pueden diversificarse a partir de las opciones para materias primas, el empleo de tecnologías variadas con el uso de distintos aditivos que pueden orientarse a satisfacer nichos de mercado específicos, lo cual muestra tanto la versatilidad de los bioplásticos, así como las oportunidades para desarrollo tecnológico e innovación.

Asimismo, la demanda internacional por los plásticos renovables con características asociadas a su biodegradabilidad total a CO<sub>2</sub> sin la generación de subproductos nocivos, se articula a una dinámica de bioeconomía circular en expansión. Frente a este panorama, materias primas como plantas superiores, microalgas y cianobacterias también pueden servir de impulso para la obtención de materias primas susceptibles de convertirse en plásticos biodegradables (Karan et al. 2019).

Sin embargo, a medida que se han ido realizando avances, la industria también ha evolucionado y transitado por diferentes fases de desarrollo tecnológico: 1) En una primera fase el enfoque inicial de la industria de bioplásticos se basaba en la sustitución de materias primas petroquímicas por monómeros de origen vegetal y polímeros como almidón, celulosa, residuos de cultivos y en mezclas con otros agentes bioplásticos 2) En una segunda fase se presentó una expansión, diversificación y ampliación de producción de nuevos bioplásticos con propiedades técnicas similares o superiores a la de plásticos tradicionales. Como películas y materiales de alto valor para aplicaciones biomédicas y 3) Generación de bioplásticos a partir de sistemas de microalgas y cianobacterias (Karan et al., 2019).

Lo anterior, pone en manifiesto que a medida que industrias asociadas por ejemplo a la biotecnología, vayan avanzando, también lo relacionado con los bioplásticos irá teniendo mejoras en sus procesos y productos. Las oportunidades que se visualizan parten de la posibilidad del aprovechamiento de múltiples materias primas de regiones como Colombia, México, Perú y Chile, que pueden ser susceptibles de transformarse en plásticos biodegradables, a partir del empleo tanto de tecnologías de la industria plástica tradicional, como de nuevos procesos de fermentación para la obtención de biopolímeros derivados de algas y cianobacterias. Lo que esto plantea, es que el desarrollo tecnológico de diversas regiones podría sustentarse en el aprovechamiento de materias primas de origen vegetal, marino, residuos de éstos para la generación de productos de alto valor agregado que puedan atender la creciente demanda por empaques sostenibles.

De acuerdo a lo anterior, la intención global por generar alternativas que permitan mitigar el efecto negativo del uso masivo de los plásticos tradicionales, también implica una serie de retos en diversas perspectivas, que se articulan con los sistemas de innovación y las posibilidades que la estructuración de los mismos permita consolidar apuestas para el desarrollo de bioplásticos en la región.

Por ejemplo, para el caso colombiano, no se presenta un número significativo de actores, salvo aquellos encargadas de tareas de distribución de materiales similares, ofrecidos con la etiqueta de “biodegradables” pero donde no hay garantía del cumplimiento efectivo de los estándares para cumplir con esta condición. Comparado con regiones como Europa o Estados Unidos, se puede apreciar una disparidad geográfica y por ende una madurez heterogénea a nivel global, por lo que es difícil establecer, por ejemplo que para Colombia, el mercado de los plásticos biodegradables esté en un punto de saturación, puesto que factores como el desarrollo económico, la inversión en actividades de ciencia y tecnología o la legislación, pueden ser determinantes para el desarrollo de esta industria (Arboleda y Villada, 2017). Esto coincide, con lo mencionado por Brockhaus *et al.* (2016), quienes establecieron que los bioplásticos a pesar de jugar un rol cada vez más relevante en los productos de consumo, éstos están reducidos a nichos de mercado muy específicos. Donde además se suman elementos, como los asociados por ejemplo a los costos superiores frente a los productos tradicionales y en donde se convierte en un desafío a largo plazo (Karan *et al.* 2019) para la consolidación efectiva de este tipo de materiales en el mercado.

De igual forma, también surgen debates alrededor del proceso legislativo alrededor de los bioplásticos, donde aún existen importantes desafíos para la regulación del mercado que ofrecen características de biodegradabilidad, para así reducir prácticas de competencia desleal con aquellos que en realidad cumplen

con los estándares internacionales en la materia. Así mismo, también se abren retos en materia de la determinación de la biodegradabilidad en ambientes terrestres y acuáticos para abordar la degradación ambiental generalizada, por lo que es necesario avanzar hacia el desarrollo de materiales que puedan degradarse completamente a CO<sub>2</sub> y agua en compostadores industriales, sistemas terrestres y acuáticos sin que liberen subproductos tóxicos (Karan *et al.* 2019).

Otro elemento que surge frente a las barreras que son necesarias atender para un mayor desarrollo de la industria, tiene que ver con la colaboración entre los productores de envases bioplásticos y los fabricantes de productos, donde se puedan fortalecer tanto la funcionalidad del producto como la innovación en tecnologías de envases (Liliani *et al.* 2020). Relacionado con esto, Goldberger *et al.* (2015) adelantaron un estudio para determinar las barreras y vías que obstaculizaran o facilitaran la adopción de coberturas de plástico biodegradables para la producción de cultivos especiales de Estados Unidos. Ellos hallaron que los principales obstáculos tenían que ver con un conocimiento insuficiente, vinculado con deficiencias en los procesos de flujo de información que generaban una imagen de complejidad del desarrollo tecnológico. Esto se sumaba al alto costo que se reconocía como un problema y un tercer factor clave comprendido por la desconfianza frente a la biodegradabilidad del material. Lo cual reflejaba como a pesar de contar con productos que han sido desarrollados, los procesos de transferencia de tecnología marcan un importante reto frente al desarrollo de los bioplásticos.

En consecuencia, es necesario establecer rutas metodológicas que permitan la interacción entre potenciales clientes y los desarrolladores de bioplásticos para encontrar puntos de encuentro para generar apuestas ajustadas a los requerimientos de ambas partes. Como lo relatan Liliani *et al.* (2020), existen problemas definidos asociados a una limitada literatura donde se examine el trabajo en co-innovación alrededor de aplicaciones en envases bioplásticos, los cuales podrían derivar en resultados positivos alrededor de la innovación de producto, mayores capacidades innovadoras de la compañía y desempeño corporativo. Por ello, las actividades comerciales se convierten en el principal impulsor de transformaciones sostenibles y el alcance de los objetivos de desarrollo sostenible, donde, la industria química global se debe articular para la generación de nuevas empresas que impulsen ésta transformación sostenible, pero frente a la cual se deberán centrar en aspectos claves como la posibilidad de medición de la huella sostenible y el establecimiento de una auténtica sostenibilidad para atraer personal, socios e inversores (Kratzer, 2020).

Comprendiendo que los bioplásticos se pueden incluir dentro de la categoría de ecoinnovación, reconocidas como aquellas innovaciones centradas en la sostenibilidad, donde la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) define ecoinnovación como la creación o implementación de productos (bienes y servicios), procesos, métodos de comercialización, estructuras organizativas y arreglos institucionales nuevos o significativamente mejorados que, con o sin intención: conducen a mejoras ambientales en comparación con alternativas relevantes (OCDE, 2009 citado en Aloise y Macke, 2017).

En este sentido, las ecoinnovaciones pueden enfrentarse a dificultades como la falta de apoyo e incentivos, el enfrentamiento con extensos procesos burocráticos, la falta de gobernanza, planificación y acciones coordinadas entre empresas, agencias gubernamentales y academia, sumadas a los conflictos entre investigación básica, investigación aplicada y mercados. Éstos elementos pueden sumarse a las incertidumbres frente al modelo de desarrollo tecnológico del país, vinculado a una falta de definición clara de las políticas públicas para la innovación y la carencia de estudios frente a tendencias tecnológicas (Aloise y Macke, 2017). Lo cual plantea, que procesos de consolidación de apuestas como son el caso de los bioplásticos van más allá del desarrollo investigativo a nivel de laboratorio e implica la necesidad de articularse con una visión clara de los ecosistemas de innovación, en donde pueda existir una comunión entre los distintos actores.

De igual forma, la dinámica de desarrollo tecnológico e innovación alrededor de los bioplásticos, coincide con lo planteado por la Misión de Sabios de Colombia, quienes establecieron que en el país, el 80% de las exportaciones proviene de la minería, con una economía poco diversificada y de baja complejidad, frente a lo cual el país debería abordar rutas para convertir el conocimiento en su pilar para el desarrollo humano y sostenible (Misión de Sabios, 2019). Bajo esta dirección, la Misión de Sabios propuso una serie de retos, entre los que se destaca que una Colombia Bio-Diversa propone “identificar, conocer, documentar y aprovechar la diversidad cultural y natural del país para impulsar la bioeconomía y la economía creativa. [...] para dar un giro hacia una economía basada en el conocimiento y con gran valor agregado [...]” (Misión de Sabios, 2019, p. 21).

En consecuencia, el desarrollo de una industria alrededor de desarrollos de los bioplásticos, puede articularse con el reto de generación de valor agregado a partir de la diversidad y el conocimiento en marco de la denominada “Colombia Bio-Diversa” en donde las múltiples materias primas locales, sean transformadas en apuestas de alto valor agregado, empleando el conocimiento como principio de cambio.

De acuerdo a lo anterior, el desarrollo de bioplásticos se enfrenta a retos importantes para su consolidación que pasan desde el reto de generar materiales que cumplan con los estándares técnicos tanto de funcionalidad, degradabilidad, a un costo competitivo, no necesariamente igual al de los plásticos tradicionales, pero que permita su mayor acceso. Los cuales se suman a la necesidad de establecer apuestas conjuntas de academia, empresa, estado y sociedad para generar espacios de intercambio de información y conocimiento que brinde insumos para los desarrolladores de bioplásticos para ajustarse a los requerimientos de los potenciales clientes y articular éstas dinámicas con los procesos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación.

### **Biopolímeros en el departamento del Cauca, Colombia**

El departamento del Cauca se encuentra ubicado al suroeste del país, hace parte de las regiones Andina y Pacífica, con una superficie de 29.308 km<sup>2</sup>, su capital es la ciudad de Popayán y está conformado por 42 municipios; su población alcanza un poco más de 1,4 millones de habitantes (Gobernación del Cauca, 2020). Su economía se basa principalmente en la producción agrícola, donde se encuentran actividades asociadas a fique, caña de azúcar, caña panelera, café, papa, maíz, yuca, frijol, tomate, mora y espárragos; sumados a la labor de ganadería, los derivados cárnicos, lácteos y un creciente desarrollo de la piscicultura en los últimos años (Cámara de Comercio del Cauca, 2019).

En materia de innovación, de acuerdo al Índice Departamental de Innovación para Colombia (IDIC) para el año 2019, el departamento del Cauca se ubicó cuarto entre siete departamentos del grupo de desempeño Medio y en la casilla doce del escalafón general, donde se destacan resultados en materia de Capital Humano, frente a la sofisticación de su estructura productiva, sobresalen la capacidad de inversión, comercio y competencia y enlaces de innovación. Donde hay un mayor destaque corresponde a la creación de conocimiento, donde se incluyen por ejemplo artículos de publicaciones científicas y técnicas, pero donde se presentan debilidades importantes frente a la diversificación de mercados de destino de exportaciones, donde se requieren de exploraciones a nuevos mercados o mantener abiertos los que se tenían (DNP, 2020).

De acuerdo con esto, desde hace varios años, en el departamento se han empezado a generar iniciativas para adecuar la región a las nuevas dinámicas que implican las sociedades de conocimiento. Estos esfuerzos se han visto trasladados desde planteamientos estratégicos como el orientado en el Plan Estratégico Departamental de Ciencia, Tecnología e Innovación del departamento del Cauca (PEDCTI) del año 2012, en donde se establecieron nueve núcleos de innovación,

con el fin de impulsar la innovación social y productiva. Dentro de este conjunto de apuestas, se incluyeron a los biopolímeros, puesto que se ajustaban a una realidad derivada de dinámicas históricas de generación de conocimiento en el territorio, en donde se visualizaban liderazgos de para convertir este foco en uno de los pilares de desarrollo del departamento (Gobernación del Cauca, 2012).

En este sentido, se destacaba el importante apoyo brindado desde la Universidad del Cauca, el Centro Regional de Productividad e Innovación del Cauca - CREPIC, que había logrado captar el interés nacional; en donde el enfoque para la obtención de materiales a partir de subproductos de la yuca, permitía asociarlo con un foco de desarrollo de una de las cadenas del sector agropecuario de alta relevancia para el departamento como la cadena de la yuca (Gobernación del Cauca, 2012).

Como se mencionó, la Universidad del Cauca ha adquirido un compromiso para el desarrollo de biopolímeros en la región y se ha consolidado como una institución líder en este tipo de desarrollos. Frente a esto, las Instituciones de Educación Superior (IES), son organizaciones clave para los procesos de transformación sociales a partir del fomento para el desarrollo tecnológico (Navia & Villada, 2013); sin embargo, se requiere que las mismas, generen relaciones de confianza con su entorno, empresarial, gubernamental y social, en donde se aborden con mayor intensidad problemáticas de ese contexto y se brinden soluciones cada vez más sofisticadas (Misión de Sabios, 2019). Sin embargo, vale la pena mencionar que en la investigación en el entorno latinoamericano se realiza principalmente en las universidades, por lo cual asumen una alta responsabilidad frente a la generación de conocimiento científico en la región (Unesco-Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2016).

Frente a esto, al interior de la Universidad del Cauca, el grupo de investigación que ha liderado este proceso, ha sido el grupo de Ciencia y Tecnología de Biomoléculas de Interés Agroindustrial – Cytbia, vinculado a la Facultad de Ciencias Agrarias, cuya formación se remonta al año 2003 y desde el cual se han consolidado apuestas tecnológicas alrededor de los bioplásticos y empaques biodegradables a partir de productos de la yuca mezclado con polímeros como ácido poliláctico y una serie de plastificantes como glicerol; donde además se ha puesto en evidencia la pertinencia del trabajo colaborativo entre distintas disciplinas y la relevancia de la articulación entre grupos de investigación, instituciones, gobierno y el sector productivo público y privado (Navia y Villada, 2013). Bajo esta perspectiva, este grupo se ha convertido en un referente para promover focos de transformación para el desarrollo tecnológico e innovación en regiones de países que conforman la Alianza del Pacífico como Colombia.

## La generación de conocimiento para el desarrollo tecnológico

Cytbia ha enfocado sus esfuerzos al desarrollo de investigaciones en diferentes áreas, entre ellos, ha liderado varios desarrollos para sustituir las denominadas películas flexibles, elaboradas tradicionalmente a partir de polietileno, los materiales compuestos y espumados expandidos que se obtienen a partir de poliestireno. Frente a las aplicaciones, se han generado opciones para el sector agrícola, especialmente para las bolsas plásticas empleadas para los semilleros en la caficultura.

Para el caso de las películas flexibles que son empleadas para la elaboración de bolsas plásticas, las apuestas han girado principalmente alrededor de la obtención de mezclas de almidón de yuca termoplástico (TPS, por sus siglas en inglés) con otros polímeros como el ácido poliláctico (PLA) y la policaprolactona (PCL), las cuales se procesan utilizando tecnologías de la industria del plástico como la extrusión de tornillo simple, de doble tornillo y extrusión soplado.

Paralelamente, se han realizado estudios para buscar alternativas al poliestireno, que es la base de los productos empleados en la producción de contenedores desechables, pero que representan un gran desafío para su reciclado, por lo que su impacto ambiental negativo es preocupante. Frente a esto, las dinámicas se han orientado principalmente en la utilización de harina de yuca y afrecho, para mediante el uso de la tecnología de moldeo por compresión, obtener matrices que son susceptibles de convertirse en productos como platos y bandejas.

Así mismo, se han propuesto alternativas para aquellos materiales de relleno suelto, empleados con frecuencia en el embalaje de productos electrónicos. Ante esto, se han utilizado los principios de materiales celulares para desarrollar a partir de TPS y usando extrusión de doble tornillo, poder obtener los prototipos.

De igual forma, las aplicaciones recientes de los desarrollos, se han orientado a atender una problemática específica del sector caficultor, en donde el uso de bolsas plásticas de polietileno para las etapas de semillero y siembra, representa un foco de generación de residuos plásticos. Frente a lo cual el grupo, ha desarrollado un prototipo de bolsa biodegradable ajustada a los estándares y requerimientos de los caficultores para tratar de mitigar este efecto negativo.

Otra importante línea, que en los últimos años gracias a la dotación de equipos de alta calidad, se ha empezado a consolidar una apuesta de investigación alrededor de estudios de biodegradación, en donde se ha buscado establecer los niveles de degradación de los materiales desarrollados en el marco de estándares

internacionales y se ha convertido en una oportunidad para la oferta de servicios de este tipo, dado el creciente interés que se ha despertado en diversos actores de la industria.

A partir de estos ejercicios, Cytbia ha consolidado apuestas para el desarrollo de investigaciones que han sido publicadas en revistas indexadas tanto nacionales como internacionales, ha participado de eventos académicos, ha apoyado el desarrollo de trabajos de grado de pregrado y maestría, así como tesis de doctorado; los cuales han permitido consolidar a este grupo de investigación como un referente a nivel nacional de la producción científica en la materia.

Frente a esto, por ejemplo estudios de vigilancia tecnológica como los desarrollados por Arboleda & Villada (2016), encontraron que frente a la afiliación de los autores de las publicaciones científicas en relación al desarrollo de películas flexibles a partir de mezclas de almidón y ácido poliláctico; la Universidad del Cauca (Colombia) presentaba mayor cantidad de resultados a nivel latinoamericano.

Cabe hacer hincapié en que la generación de nuevo conocimiento alrededor de los empaques biodegradables en Cytbia, no se ha reducido al trabajo de laboratorio, puesto que también ha contribuido con ejercicios de vigilancia tecnológica, análisis de prospectiva, estudios de mercado y ejercicios de trabajo con comunidades para la apropiación del conocimiento. En marco de esta dinámica se han adelantado múltiples esfuerzos por trasladar los resultados de investigación a productos de desarrollo tecnológico como patentes, las cuales se encuentran relacionadas en la tabla 2. Es importante mencionar, que en la Universidad del Cauca, una institución con 193 años de historia, las patentes asociadas a desarrollos de empaques biodegradables fueron las primeras patentes concedidas a la Universidad en su historia.

**Tabla 2.**  
**Listado de patentes concedidas**

Título de patente	Código	Fecha de concesión	País
1. Material compuesto a partir de afrecho de yuca para la fabricación de recipientes y envases biodegradables	NC2018/0014376	18/05/2020	Colombia
2. Proceso de obtención de películas biodegradables para la fabricación de guantes para el consumo de alimentos	16004096	17/05/2018	Colombia

3. Plato desechable biodegradable elaborado a partir de harina de yuca	16004093	17/05/2018	Colombia
4. Bolsa biodegradable para almácigos de cafés especiales	16004103	11/09/2017	Colombia
5. Biodegradable films obtained from cassava starch and their manufacture process	US9416275 B2	16/08/2016	Estados Unidos
6. Biodegradable packaging obtained from cassava flour and fique fiber and their manufacture process	US9109116 B2	18/08/2015	Estados Unidos
7. Proceso de obtención de un material compuesto por harina de yuca, fibra de fique y glicerina	13097720	17/12/2013	Colombia
8. Proceso de obtención de películas biodegradables flexibles compuestas por almidón de yuca, ácido poliláctico y policaprolactona	11124719	17/12/2013	Colombia

*Fuente: elaborado a partir de buscador de patentes de la Superintendencia de Industria y Comercio y Google Patents.*

Lo anterior, plantea una dinámica sumamente interesante alrededor del desarrollo científico, pues además de consolidar una apuesta clara de generación de conocimiento traducida en artículos y documentos de investigación, la apuesta del grupo ha sido permanente frente al desarrollo tecnológico, traducida en patentes concedidas que se convierte en un importante insumo para la medición de las capacidades de innovación de la región.

### **Formación de capital humano**

Uno de los factores clave en la dinámica de transformaciones tecnológicas aceleradas es la educación, que se ha perfilado como un elemento crítico para el desarrollo humano y la transformación efectiva de las sociedades (Misión de

Sabios, 2019). Bajo esta perspectiva, la formación de capital humano ha sido un objetivo constante y un compromiso continuo del grupo. En este sentido, Cytbia ha brindado soporte al programa de pregrado de Ingeniería Agroindustrial y del Doctorado en Ciencias Agrarias y Agroindustriales.

Sumado a esto, los integrantes del grupo de investigación han desarrollado un proceso formativo, que ha iniciado incluso desde la etapa de semillero y llegando al nivel de doctorado. En la actualidad seis integrantes se encuentran en proceso de finalización de su proceso de doctorado, en su mayoría en el Doctorado en Ciencias Agrarias y Agroindustriales, desarrollando estudios desde materiales termoencogibles, desarrollo de materiales espumados, investigaciones con nanopartículas, procesos de degradación con insectos y valoración tecnológica en el tema de bioplásticos.

Sumado a esto, otros doce integrantes se encuentran o han finalizado su proceso de formación a nivel de maestría, en programas diversos como Maestría en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Industrial, Maestría en Ingeniería de Alimentos, Maestría en Ciencias – Biotecnología, Maestría en Gestión de Organizaciones y Proyectos y Maestría en Gerencia para la Innovación Social, en universidades como la Universidad del Cauca, la Universidad del Valle, la Universidad Nacional de Colombia (Sede Palmira) y la Universidad Icesi.

Este proceso formativo ha tenido un fuerte componente multidisciplinar, que ha permitido fortalecer las capacidades de investigación del grupo, en la medida en que desde la formación profesional se cuenta con ingenieros agroindustriales, ingenieros de alimentos, químicos, biólogos que se han formado a nivel de posgrado en distintas áreas del conocimiento y en la fase de apropiación social del conocimiento se ha vinculado la disciplina antropológica.

### **Apropiación social del conocimiento**

Las instituciones generadoras de conocimiento en América Latina requieren ser repensadas, dadas las diversas oportunidades que han surgido debido a las problemáticas que son características de un mundo que está en constante cambio y que se enfrenta a nuevos desafíos. Estos cambios deben estar concebidos para adaptarse a nuevos contexto, facilitar un abordaje multidisciplinario de la Ciencia, Tecnología e Innovación (CTel) y la adopción de estrategias de investigación modernas, por ello, el desarrollo de la ciencia desde modelos mixtos de investigación, es un mecanismo para innovar en la búsqueda de nuevas soluciones para los requerimientos cambiantes de la sociedad actual (Cepal, 2018). En concordancia, Cytbia le ha apostado a la conformación de un grupo de

investigación multidisciplinario, como se ha descrito, puesto que la integración de información diversa o de diferentes puntos de vista, facilita que los desarrollos de CTel puedan ser apropiados, pero sin recaer en el interés por cambiar las prácticas culturales, sino para alcanzar un cambio de actitud en la sociedad frente a un desarrollo de CTel (Ilabaca, 2017; McGowan *et al.* 2012).

Consecuente con lo descrito, entre las estrategias adoptadas por el grupo de investigación para ir más allá de la academia y extrapolar sus estudios hacia la apropiación de los mismos, ha empezado a realizar iniciativas desde el año 2017 enfocadas en promover experiencias personales y anecdóticas de potenciales adoptantes de los empaques biodegradables en etapas previas a la comercialización o masificación de los productos, con el objetivo de que los prototipos sean validados bajo características culturales y técnicas tradicionales. Con los resultados de estas pre-validaciones, el grupo de investigación ha logrado construir procesos de co-diseño que han permitido llegar a desarrollos de CTel que responden a requerimientos técnicos, culturales y sociales.

Como ejemplo alusivo de esta estrategia multidisciplinaria en la innovación y desarrollo de empaques biodegradables, Cytbia realizó con caficultores y caficultoras del sur-occidente de Colombia, un proceso de apropiación para el uso de empaques biodegradables para almacigos de café (Bioalmácigos). Lo descrito se realizó en el marco del proyecto denominado “Apropiación y uso de empaques biodegradables para plántulas obtenidas de almidón de yuca para fortalecer la cadena de producción de café en Cauca y Huila” financiado por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias) y la Universidad del Cauca, de la mano de los grupos de investigación Cytbia y Antropos–perspectiva antropológica-, de la Facultad de Ciencias Agrarias y la Facultad de Ciencias Humanas y Sociales, respectivamente.

Estos grupos construyeron una alianza estratégica a la cual se sumaron organizaciones de base de los departamentos de Cauca y Huila, específicamente de los municipios de Pitalito (Huila) con las Empresarias Cafeteras Sur Huilenses y la Central Cooperativa Indígena del Cauca (Cencoic) en Caldono (Cauca), en donde se buscó conjugar los conocimientos y experiencias tanto de la comunidad científica como de los potenciales beneficiarios (Palacios *et al.*, 2020), que en este caso correspondían a caficultores.

Para esta experiencia en concordancia con las premisas planteadas por Christensen *et al.* (2001), quienes relacionan que existen seis etapas posibles un proceso de apropiación, donde en la primera etapa es la asociada al proceso de conciencia hacia el desarrollo o proceso, en la segunda etapa se va aprendiendo sobre el proceso o desarrollo, en la tercera etapa se alcanza una comprensión y

aplicación del proceso o desarrollo, en la cuarta etapa se alcanza una familiaridad y confianza por el desarrollo o proceso, en la quinta etapa se da la adaptación a otros contextos de proceso o desarrollo y por último en la sexta etapa se da la aplicación creativa del desarrollo o proceso a nuevos contextos; para la experiencia de Bioalmácigos, se logró llegar hasta la etapa de familiaridad y confianza por el empaque biodegradable para almácigos de café (apropiación básica), donde gracias a los puentes de conocimiento creados entre caficultores e investigadores del grupo Cytbia, se prevaleció y co-diseñó un empaque aplicable para los contextos reales del sector caficultor, bajo los conceptos de pertinencia que los productores resaltaron y demostraron. Respecto a las últimas dos etapas planteadas para el proceso de apropiación, estas son las subsiguientes en las que está incursionando el grupo de investigación, puesto que ahora se cuenta con un producto pre-validado por sus potenciales usuarios, y por ende, actualmente ellos son los principales voceros de este desarrollo, lo que es primordial, dado que son quienes transmitirán las ventajas de la tecnología y los problemas que puede ayudar a resolver hacia otros posibles usuarios, y cuando un desarrollo se difunde ampliamente en la sociedad, la motivación para obtenerlo y/o adoptarlo aumenta rápidamente (Becerril-Velasco, 2020).

Es importante resaltar como para alcanzar la apropiación de empaques biodegradables en sectores agrícolas y/o agropecuarios, se debe trascender del solo concepto de usabilidad hacia la generación, adaptabilidad, apropiación y transformación del conocimiento que converge en el desarrollo de estos productos, dado que a pesar de que la investigación básica y la innovación son elementos claves para sustentar el desarrollo económico, social y ambiental de una región, el acceso a ellos por sí solo no garantiza su sostenibilidad, por ello, se requiere promover el desarrollo de ciertas habilidades o competencias en los usuarios que les permitan conocer las ventajas e identificar los aportes en los desarrollos de investigación, para que puedan adoptarlos y/o la adaptarlos a sus necesidades (Van Deursen *et al.* 2017; Becerril-Velasco, 2020).

Asimismo, esta experiencia planteó una serie de aprendizajes alrededor de la promoción de la innovación transformativa que plantea el Libro Verde 2030 - Política Nacional de Ciencia e Innovación para el Desarrollo Sostenible (Colciencias, 2018), en diversas áreas. Por ejemplo, desde la inclusión activa de las comunidades cafeteras para la generación y uso del conocimiento, en marco de una realidad asociada al sistema socio-técnico cafetero, en donde se involucraron elementos de ingeniería, sostenibilidad y análisis de contexto cultural, para promover transformaciones desde los mismos caficultores. En este sentido, el desarrollo de bioplásticos puede orientarse también como la posibilidad para la

generación de apuestas en marco de una innovación transformativa, en donde el reto de la sostenibilidad pueda ser atendido desde una academia que interactúe constantemente con el entorno social que la rodea.

### **Constitución de Empresa de Base Tecnológica**

Fruto de toda las dinámicas presentadas, en marco del proyecto “Investigación y desarrollo de empaques biodegradables” ejecutado por la Gobernación del Cauca en convenio con la Universidad del Cauca y la Corporación Clayuca, financiado por el Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías, en el año 2017 se formalizó la constitución de la empresa de base tecnológica para el desarrollo de empaques biodegradables, la cual busca servir como eje de articulación institucional, fomentar el desarrollo tecnológico, escalamiento y transferencia de resultados de investigación y desarrollo (Gobernación del Cauca, 2017).

Sin embargo, así como se mencionó, frente a los desafíos que implican estos procesos de ecoinnovación, la constitución de esta empresa de base tecnológica también se verá enfrentada a las debilidades que pueden encontrarse en los sistemas de innovación regionales. Frente a esto Fernández (2018), concluyó que existe un alto grado de influencia de las políticas públicas y la articulación de los actores de los sistemas de innovación para la creación y desarrollo de empresas de base tecnológica; en donde mencionaba la relevancia del apoyo institucional para el alcance de niveles de madurez que permitan la auto-sostenibilidad; encontrando que en el Cauca se requiere aún consolidar esfuerzos gubernamentales que dinamicen este tipo iniciativas, para la consolidación de un ecosistema favorable para este tipo de organizaciones.

Estudios como los realizados por Ocampo *et al.* (2019), en donde se presentó un estudio de caso de un grupo de investigación en biotecnología de una universidad colombiana para la creación de empresas de química verde como resultado de la investigación aplicada en biotecnología, en donde se presentaron elementos asociados a la necesidad de mantener una visión de mercado de las investigaciones desde donde se atendieran necesidades identificadas, tanto de la industria como de la comunidad; sumado a una vinculación temprana de estos actores a los procesos de desarrollo con el fin de reducir barreras a la transferencia en el futuro. De acuerdo con esto, la consolidación de una empresa de base tecnológica en empaques biodegradables como resultado del proceso de investigación, muestra como desde los grupos de investigación se pueden plantear alternativas para el aprovechamiento de los resultados de investigación para llevarlas hacia dinámicas de innovación.

Esta dinámica también ha sido propuesta por Castrillón *et al.* (2020), quienes analizaron el caso de la Universidad del Cauca desde sus posibilidades para transformarse en un mediano plazo en una universidad emprendedora, donde encontraron que en un alto porcentaje de los grupos de investigación, éstos estarían en condiciones para adelantar proyectos de base tecnológica tipo Spin Off, dado tanto sus perfiles como sus capacidades. Lo cual plantearía también una serie de retos y transformaciones al interior de las Instituciones de Educación Superior, en donde se hará necesario revisar sus sistemas de investigación, desde elementos asociados a la propiedad intelectual, la conformación del capital relacional y los incentivos para el desarrollo de apuestas de innovación.

Sin embargo, tomando en cuenta la dinámica que ha planteado el grupo de investigación Cytbia, muestra que a pesar de las dificultades y debilidades que hoy puede presentar el ecosistema de innovación en el departamento; el desarrollo de investigaciones que involucren necesidades del entorno, con perspectivas de mercado, en donde se invite a la participación de actores institucionales, sociales y empresariales y en donde exista una continua gestión de recursos, puede derivar en apuestas como la consolidación de empresas de base tecnológica, que permitan la oferta de productos derivados de procesos de investigación, con los consecuente beneficios económicos, sociales, ambientales y productivos que esto conlleva.

### **Otras experiencias en países de Alianza del Pacífico**

Así como se presentó el caso del departamento del Cauca, en cabeza de la Universidad del Cauca y el grupo de investigación Cytbia, otras iniciativas también han sido rastreadas en los países que conforman la Alianza del Pacífico. Tal es el caso de la compañía Biofase, ubicada en México, la cual emplea residuos agroindustriales de la semilla de aguacate a partir de los cuales extrae una molécula que puede convertirse en productos biodegradables como cuchillos, cucharas, tenedores y pitillos (Biofase, 2020).

Así mismo, en Chile, se encuentra Zeaplast que es una empresa de base tecnológica constituida en la Unidad de Desarrollo Tecnológico (UDT) de la Universidad de Concepción, en donde producen alternativas para plásticos en agricultura y bolsas de diferente uso; para los cuales emplean maíz como principal materia prima (Zeaplast, 2020).

Los anteriores, son dos de los ejemplos que muestran las dinámicas que en este rubro se han empezado a presentar en diferentes regiones de Latinoamérica, en donde se ha buscado dar respuesta a una problemática global, a partir

del aprovechamiento de materias primas locales. Sin embargo, tal como se ha presentado, la posibilidad de trascender en los mercados, vendrá de la posibilidad de un mayor involucramiento de las universidades para el desarrollo de investigaciones en el área, acompañadas de esfuerzos empresariales por parte de sectores económicos interesados en este tipo de desarrollos, en marco de políticas públicas de innovación que promuevan los ecosistemas de innovación y de la integración con la sociedad civil para los procesos de construcción colectiva a problemáticas vinculadas con el manejo de los plásticos.

### 3. Conclusiones

La transición de la economía lineal hacia una economía circular plantea la apertura de múltiples retos para regiones donde su riqueza de recursos naturales se convierte en una ventaja competitiva a partir de su aprovechamiento y transformación en productos de alto valor agregado. En este sentido, uno de los paradigmas que representan un importante hito desde el punto de vista tecnológico, ambiental y social corresponde al desarrollo de los bioplásticos, donde se incluyen aquellos materiales plásticos elaborados a partir de recursos naturales renovables y cuya característica diferencial frente a los plásticos tradicionales radica en su carácter de degradabilidad. Lo cual plantea además, la posibilidad de contribuir a la mitigación de los efectos negativos derivados de los desechos plásticos que afectan los entornos terrestres y acuáticos y representan una gran preocupación para la estabilidad ambiental del planeta.

Para regiones como la que conforman los países que integran la Alianza del Pacífico, el desarrollo tecnológico alrededor de los bioplásticos puede representar la oportunidad de impulsar una dinámica de crecimiento rural a partir del aprovechamiento de materias primas de diversas fuentes. Con el desarrollo biotecnológico, la gama de posibilidades para obtención de bioplásticos parte desde la transformación de materiales como almidón de fuentes como papa, maíz, yuca; el uso de materiales lignocelulósicos e incluso de residuos de procesos agroindustriales como afrechos y bagazo de caña. Así mismo también se pueden encontrar alternativas de aprovechamiento de recursos como algas y cianobacterias. En países que cuentan con una importante oferta agrícola y que disponen de diversidad de recursos terrestres y marítimos, la consolidación de una industria de bioplásticos puede significar un impulso trascendental en el desarrollo tecnológico y social.

En el caso colombiano, se analizó el trabajo que adelanta el grupo de investigación Ciencia y Tecnología de Biomoléculas de Interés Agroindustrial de la Universidad del Cauca en el departamento del Cauca, suroccidente de Colombia. Este caso presenta un singular dinamismo, puesto que refleja como el trabajo conjunto alrededor del desarrollo de biopolímeros puede servir de base para el desarrollo científico de la región. El trabajo que ha consolidado este departamento ha transitado por diferentes fases de investigación. Estos esfuerzos se han traducido en infraestructura tecnológica, fortalecimiento del recurso humano científico, obtención de patentes de invención, apuestas por el desarrollo de empresas de base tecnológica y dinámicas de apropiación social del conocimiento con comunidades de base. Bajo este esfuerzo se han articulado esfuerzos desde la academia, la empresa, el Estado y la sociedad civil.

El caso presentado busca servir de referente para que otras regiones de los países de la Alianza del Pacífico puedan visualizar y empezar esfuerzos alrededor de recursos que disponen en sus territorios. En donde productos de alto valor agregado como los bioplásticos pueden representar el eje de articulación de las relaciones de diferentes actores que conforman los sistemas regionales y nacionales de innovación. La industria de bioplásticos puede representar la oportunidad de crecimiento tecnológico y social en regiones con una riqueza natural subexplotada, puesto que puede impulsar la búsqueda de rutas de aprovechamiento de materias primas, la articulación de los productores primarios, la vinculación de empresas del sector plástico y de otros sectores, el acompañamiento de los entes gubernamentales y su traducción en dinámicas de innovación social. Con lo cual, los bioplásticos pueden representar la oportunidad para avanzar hacia el alcance de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y de nuevas dinámicas de innovación transformativa para los territorios latinoamericanos.

Los retos que plantean las dinámicas para avanzar hacia la consolidación de procesos de innovación transformativa, implican nuevos desafíos para aquellos que se encuentran tanto desde la oferta como desde la demanda de conocimiento. El caso de los bioplásticos representa un ejemplo de cómo se pueden articular esfuerzos con comunidades de base, ya sea proveedores de materias primas o potenciales usuarios de los desarrollos tecnológicos. La posibilidad de generar transformaciones desde las bases sociales a partir de ejercicios de ciencia, tecnología e innovación se convierte en un insumo fundamental para la consolidación de capacidades de innovación territoriales, en donde los actores sociales y civiles tengan una activa participación.

### 3. Referencias bibliográficas

- Aloise, P., y Macke, J. (2017). Eco-innovations in developing countries: The case of Manaus Free Trade Zone (Brazil). *Journal of Cleaner Production*, 168(1), 30-38.
- Arboleda, G., y Villada, H. (2017). Análisis de curvas en S para artículos y patentes de empaques semirrígidos biodegradables. *Revista Espacios*, 38(22), 20.
- Arboleda, G., y Villada, H. (2016). Vigilancia tecnológica: películas flexibles a partir de mezclas de almidón y ácido poliláctico. *Agronomía Colombiana*, 34(1Supl.), S132-S135.
- Becerril-Velasco, C. (2020). Pobreza urbana y apropiación de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en México. *Observatorio*, 14(2), 72-92.
- Biofase. (2020, julio 1). Cubiertos y popotes de semilla de aguacate. Recuperado de <http://www.saspopcorn.com/biofase.pdf>
- Brockhaus, S., Petersen, M., y Kersten, W. (2016). A crossroads for bioplastics: Exploring product developers' challenges to move beyond petroleum-based plastics. *Journal of Cleaner Production*, 127, 84-95.
- Cámara de Comercio del Cauca. (2019). Entorno socioeconómico del departamento del Cauca 2019. Recuperado de [https://www.cccauca.org.co/sites/default/files/archivos/entorno\\_economico\\_del\\_departamento\\_del\\_cauca\\_2019.pdf](https://www.cccauca.org.co/sites/default/files/archivos/entorno_economico_del_departamento_del_cauca_2019.pdf)
- Castrillón, A., Infante, A., Zúñiga, A., y Martínez, F. (2020). Generación de empresas derivadas de base tecnológica (Spin Offs), a partir de los resultados de I+D+i de los grupos de investigación de la Universidad del Cauca, Colombia. *Información Tecnológica*, 31(1), 67-78.
- Cepal. (2018). *Perspectivas económicas de América Latina 2018: repensando las instituciones para el desarrollo*. París: Éditions OCDE.
- Christensen, R., Griffin, D., y Knezek, G. (2001). Measures of teacher stages of technology integration and their correlates with student achievement. Recuperado de <https://eric.ed.gov/?id=ED451187>
- Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias). (2018). Libro Verde 2030. Política Nacional de Ciencia e Innovación para el Desarrollo Sostenible.

- Departamento Nacional de Planeación. (2020). Índice Departamental de Innovación para Colombia IDIC 2019. Recuperado de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/IndiceDepartamental-Innovacion-Colombia-2019.pdf>
- Fernández, A. (2018). Factores condicionantes del surgimiento y sostenibilidad de una organización de base tecnológica en el sector de empaques biodegradables en el departamento del Cauca. [Trabajo de grado de maestría]. Universidad del Cauca.
- Gobernación del Cauca. (2012). Plan Estratégico Departamental de Ciencia, Tecnología e Innovación del departamento del Cauca (PEDCTI). Recuperado de <https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/pedcti-cauca.pdf>
- Gobernación del Cauca. (2017). El Cauca contará con una Empresa de Base Tecnológica para el Desarrollo e Innovación Agroindustrial. Recuperado de <http://www.investincauca.com/noticias/el-cauca-contara-con-una-empresa-de-base-tecnologica-para-el-desarrollo-e-innovacion>
- Gobernación del Cauca. (2020). Perfil del departamento del Cauca. Recuperado de <https://www.cauca.gov.co/Dependencias/OficinaAsesoradePlaneacion/InformacioneIndicadores/Perfil-Departamento-del-Cauca.pdf>
- Goldberger, J., Emmet, R., Miles, C., Wallace, R., y Inglis, D. (2015). Barriers and bridges to the adoption of biodegradable plastic mulches for US specialty crop production. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 30(2), 143-153.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. México, D. F.: McGraw-Hill.
- Hwang, K., Jeon, W., Lee, S., Kim, M, y Park, Y. (2020). Sustainable bioplastics: Recent progress in the production of bio-building blocks for the bio-based nextgeneration polymer PEF. *Chemical Engineering Journal*, 390.
- Ilabaca, J. (2017). Integración curricular de TICs concepto y modelos. *Revista Enfoques Educativos*, 5(1), 51-65.
- Karan, H., Funk, C., Grabert, M., Oey, M., y Hankamer, B. (2019). Green bioplastics as part of a circular bioeconomy. *Trends in Plant Science*, 24(3), 237-249.
- Kratzer, J. (2020). Starting up in the age of sustainability. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 21, 89-92.

- Kumar, S., Shaiju, P., O'Connor, y Babu, R. (2020). Bio-based and biodegradable polymers - State-of-the-art, challenges and emerging trends. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 21, 75-81.
- Liliani, L., Tjahjono, B., y Cao, D. (2020). Advancing bioplastic packaging products through co-innovation: A conceptual framework for supplier-customer collaboration. *Journal of Cleaner Production*, 252.
- Martínez, J. (2011). Métodos de investigación cualitativa. *Revista de la Corporación Internacional para el Desarrollo Educativo*, 8, 1-33.
- McGowan, B., Wasko, M., Vartabedian, B., et al. (2012). Understanding the factors that influence the adoption and meaningful use of social media by physicians to share medical information. *Journal of Medical Internet Research*, 14(5), e117.
- Misión de Sabios. (2019). Propuestas de la Misión Internacional de Sabios. Recuperado de [https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/propuesta-sabios-txt\\_y\\_portada-alta.pdf](https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/propuesta-sabios-txt_y_portada-alta.pdf)
- Navia, D., y Villada, H. (2013). Impacto de la investigación en empaques biodegradables en ciencia, tecnología e innovación. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(2), 173-180.
- Ocampo, C., Ramírez, M., Rendón, L., y Vélez, Y. (2019). Applied research in biotechnology as a source of opportunities for green chemistry start-ups. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 11, 41-45.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco). (2016). Universidades para el desarrollo.
- Palacios, L., Arboleda, G., Portela, H., y Villada, H. (s. f.). Sistematización de experiencias en apropiación de conocimiento con caficultores de Colombia. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 14(1), 38-55.
- Payne, J., McKeown, P., y Jones, M. (2019). A circular economy approach to plastic waste. *Polymer Degradation and Stability*, 165, 170-181.
- Piñeros, N., Sierra, F., Piñeros, Y., y Ortega, R. (2019). Propiedades microestructurales y ópticas de películas biodegradables a base de almidón termoplástico y poli ( $\epsilon$ -Caprolactona) con actividad antioxidante. *Información Tecnológica*, 30(4), 293-300.

- Ríos, A., Álvarez, C., Cruz, L., y Restrepo, A. (2017). Revisión: fibroína de seda y sus potenciales aplicaciones en empaques biodegradables para alimentos. *Prospectiva*, 15(1), 7-15.
- Rodríguez, A., y Pérez, A. (2017). Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. *Revista EAN*, 82, 179-200.
- Serna, E., y Serna, A. (2015). Crisis de la ingeniería en Colombia. Estado de la cuestión. *Ingeniería y Competitividad*, 17(1), 63-74.
- Tsang, Y., Kumar, V., Samadar, P., et al. (2019). Production of bioplastic through food waste valorization. *Environment International*, 127, 625-644.
- Van Deursen, A., Helsper, E., Eynon, R., y Van Dijk, J. (2017). The Compoundness and Sequentiality of Digital. *Inequality, International Journal of Communication*, 11, 452-473.
- Walker, S., y Rothman, R. (2020). Life cycle assessment of bio-based and fossil-based plastic: A review. *Journal of Cleaner Production*, 261.
- Zartha, J., Villada, H., Hernández, R., et al. (2015). Aplicación de Delphi Method in a foresight study on biodegradable packaging up to 2032. *Espacios*, 36(15), 3.
- Zeaplast. (2020, julio 1). Productos. Recuperado de <http://www.zeaplast.cl/#>