

**PROGRAMA ESTRATÉGICO PARA EL SECTOR DE EMPAQUES FLEXIBLES QUE
INCORPORA TECNOLOGÍAS INNOVADORAS PARA LA VENTAJA COMPETITIVA
SOSTENIBLE**

DILVIO EVELIO BURGOS

DIRECTORA

DIANA LORENA PINEDA OSPINA

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ADMINISTRACIÓN

MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN

SANTIAGO DE CALI

2025

CONTENIDO

RESUMEN	6
PALABRAS CLAVES:	7
ANTECEDENTES	8
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	10
METODOLOGÍA	16
Fundamentos metodológicos	17
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA:	19
ANÁLISIS DE MERCADO	24
VIGILANCIA TECNOLÓGICA	26
MARCO TEÓRICO	27
INNOVACIÓN EN MATERIALES Y TECNOLOGÍAS DE EMPAQUES	29
INNOVACIÓN EN PROCESOS DE FABRICACIÓN	31
SOSTENIBILIDAD Y ECOEFICIENCIA EN EMPAQUES	33
APLICACIONES ESPECÍFICAS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA	35
TENDENCIAS Y REGULACIONES EN LA INDUSTRIA DEL EMPAQUE	38
SÍNTESIS DEL ANÁLISIS	40
MARCO TEÓRICO–CONCEPTUAL–CONTEXTUAL	42
OBJETIVO 1: IDENTIFICAR LAS TECNOLOGÍAS MÁS RELEVANTES PARA EL SECTOR DE EMPAQUES FLEXIBLES DE ALIMENTOS Y EVALUAR SU IMPACTO EN LA COMPETITIVIDAD INTERNACIONAL PARA EL AÑO 2030.	44
TENDENCIAS GLOBALES EN EMPAQUES FLEXIBLES DE ALIMENTOS	44
EMPAQUE PARA ALIMENTOS	45
DEMANDA Y CAMBIOS EN LAS PREFERENCIAS DE LOS CONSUMIDORES	45
TECNOLOGÍAS APLICABLES AL SECTOR	47
CLASIFICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS IDENTIFICADAS	49
EVALUACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS	53
NANOTECNOLOGÍA Y NANOMATERIALES	60
EMPAQUES FUNCIONALES Y RECICLAJE AVANZADO	62
TECNOLOGÍAS EMERGENTES Y EMPAQUES INTELIGENTES	64
EVALUACIÓN DEL IMPACTO EN LA COMPETITIVIDAD INTERNACIONAL	68

PRODUCTIVIDAD Y REDUCCIÓN DE COSTOS	68
INNOVACIÓN DE VALOR AGREGADO	69
CUMPLIMIENTO DE ESTANDARES INTERNACIONALES	70
DIFERENCIACIÓN EN MERCADOS GLOBALES	71
OBJETIVO 2: ANALIZAR LAS OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS EN LOS MERCADOS INTERNACIONALES PARA EL SECTOR DE EMPAQUES FLEXIBLES.....	71
ANÁLISIS PESTEL	72
POLÍTICO.....	73
ECONÓMICO.....	75
SOCIAL	77
TECNOLÓGICO	79
ECOLÓGICO.....	80
LEGAL.....	86
CARACTERIZACIÓN DE LOS MERCADOS INTERNACIONALES POTENCIALES A 2030	88
TENDENCIAS EN AMÉRICA DEL NORTE, EUROPA, ASIA Y AMÉRICA LATINA	90
MERCADO UNION EUROPEA	92
MERCADO NORTEAMERICANO	98
MERCADO ASIA-PACIFICO	104
VARIABLES QUE CONTRIBUYEN AL CRECIMIENTO DE LA DEMANDA DEL SECTOR DE EMPAQUES FLEXIBLES:.....	110
CRECIENTE CONSUMO DE ALIMENTOS ENVASADOS Y PROCESADOS	110
CRECIMIENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR Y REGULACIONES SOSTENIBLES	110
MAYOR ATENCIÓN DEL CONSUMIDOR A LA SOSTENIBILIDAD Y LA CONVENIENCIA:	111
AUMENTO DE LOS LANZAMIENTOS DE ENVASES INNOVADORES PARA AUMENTAR EL CRECIMIENTO DEL MERCADO.....	111
CRECIENTE DEMANDA DE ENVASES FLEXIBLES EN EL SECTOR DEL COMERCIO ELECTRÓNICO.....	112
DESAFÍOS PARA LA INTERNACIONALIZACIÓN	112
ANÁLISIS ESTRATÉGICO DOFA DEL SECTOR DE EMPAQUES FLEXIBLES EN COLOMBIA	116
Recomendaciones estratégicas	118
OBJETIVO 3: DISEÑO ESTRATÉGICO PARA LA COMPETITIVIDAD INTERNACIONAL BASADO EN TECNOLOGÍAS INNOVADORAS EN EMPAQUES FLEXIBLES.....	119
FASE 1. IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE TECNOLOGÍAS EMERGENTES:.....	121
FASE 2. ANÁLISIS DE TRANSICIÓN TECNOLÓGICA Y REQUISITOS DE ADOPCIÓN:	121

FASE 3. DESARROLLO DEL ROADMAP PARA LA ADOPCIÓN EN EL CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO:	121
FASE 4. VALIDACIÓN CON ACTORES CLAVE DE LA INDUSTRIA:	122
1. Films comestibles y recubrimientos (básicas o convencionales)	125
2. Nanotecnología y nanocompuestos (avanzado)	126
3. Propiedades mecánicas y de barrera (básicas o convencionales)	126
4. Propiedades antimicrobianas y antioxidantes (básicas o convencionales)	126
5. Propiedades funcionales y de liberación controlada (avanzado)	127
6. Procesos de fabricación y evaluación de seguridad (básicas o convencionales)	127
7. Tecnologías de reciclaje y sostenibilidad (básicas o convencionales)	128
9. Tecnologías de envasado activo e inteligente (intermedio)	128
10. Tecnologías emergentes (avanzado)	129
RUTA TECNOLÓGICA 1: INNOVACIÓN EN FILMS COMESTIBLES Y RECUBRIMIENTOS	130
RUTA TECNOLÓGICA 2: NANOTECNOLOGÍA Y PROPIEDADES FUNCIONALES AVANZADAS	132
RUTA TECNOLÓGICA 3: TECNOLOGÍAS DE RECICLAJE Y SOSTENIBILIDAD	134
VISIÓN ESTRATÉGICA:	134
PRINCIPIOS ESTRATÉGICOS PARA LA HOJA DE RUTA	137
Enfoque sostenible	137
Adaptación tecnológica	138
Orientación al mercado internacional	140
COMPONENTES CLAVE DE LA HOJA DE RUTA	141
Inversión en I+D e innovación	142
Alianzas estratégicas con centros tecnológicos y universidades	146
Certificaciones y cumplimiento de normas internacionales	148
Formación del talento humano y reconversión laboral	151
Fases e hitos de implementación (2025–2030)	154
INDICADORES DE MONITOREO Y EVALUACIÓN	158
KPIs tecnológicos	158
KPIs comerciales	161
KPIs sociales	163
KPIs ambientales	166
Marco de monitoreo Integrado	169
CONCLUSION	173

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 180

Anexo 1..... 204

RESUMEN

Este trabajo propone un programa estratégico para el sector colombiano de empaques flexibles orientado a la competitividad internacional y la ventaja competitiva sostenible hacia 2030. Con un diseño metodológico mixto donde se incluyen revisión sistemática, vigilancia tecnológica, bibliometría y evaluación multicriterio, se priorizan tecnologías según sostenibilidad ambiental, eficiencia de costos, innovación/adaptabilidad, calidad del producto y acceso a mercados. Mediante herramientas de análisis estratégico y de apoyo a la toma de decisiones PESTEL, DOFA y la evaluación de madurez tecnológica (TRL) se integra una hoja de ruta 2025–2030 que propone fases, indicadores, certificaciones y procesos de formación de talento humano para mejorar la competitividad. El aporte central es la definición de tres rutas tecnológicas articuladas y complementarias:

- Innovación en películas comestibles y recubrimientos: desarrollo de soluciones a base de celulosa, quitosano, proteínas y PLA para extender la vida útil, mejorar barreras y habilitar alternativas biodegradables y compostables.
- Nanotecnología y propiedades funcionales avanzadas: incorporación de nanomateriales para reforzar propiedades mecánicas y de barrera, funcionalidades antimicrobianas/antioxidantes y liberación controlada, con criterios de inocuidad y cumplimiento regulatorio.
- Tecnologías de reciclaje y sostenibilidad: transición hacia monomateriales, reciclaje avanzado (incluido químico), eco-diseño y trazabilidad para maximizar circularidad y conformidad con normativas internacionales.

Los resultados muestran que la ventaja competitiva dependerá de combinar tecnologías de empaques sostenibles, cumplimiento normativo y eficiencia operativa, habilitada por las tres rutas. La tesis ofrece criterios de priorización y una hoja de ruta implementable que guía

inversiones, reduce costos y amplía mercados. Para comprender los mecanismos de adopción y las propuestas en profundidad resulta pertinente la lectura completa del documento.

PALABRAS CLAVES:

Empaques flexibles, Innovación, Competitividad, Plan Estratégico, Internacional, Tecnología, Roadmap, Bioempaques, Sostenibilidad, Economía Circular.

ANTECEDENTES

El desarrollo industrial colombiano ha estado marcado por una serie de hitos significativos que han influido en su estructura productiva y en la dinámica empresarial del país. Entre estos, el nacimiento de la industria plástica durante la década de 1930 destaca como un momento clave, estableciendo un precedente importante en términos de innovación y crecimiento sectorial. Particularmente notoria es la creación de una empresa precursora en el ámbito de la producción plástica en 1939, situada en Santiago de Cali, capital del Valle del Cauca.

Este acontecimiento se constituye como un episodio fundamental en el proceso de industrialización en Colombia y marca el inicio de una etapa caracterizada por el avance tecnológico y el desarrollo productivo, que sentarían las bases para futuras expansiones económicas y la diversificación de la industria nacional. Como puede reconocerse, Cali en la década de los treinta se consolidó como el contexto en donde se crea la primera empresa productora de artículos obtenidos a través del moldeo de resinas plásticas (Tres Estrellas), dedicada a la fabricación de productos tales como juguetes y artículos personales mediante moldeo por inyección.

Es preciso, referenciar que esta idea de negocio, se hace más notoria en el mercado en el año de 1976, puesto que es allí, cuando se crea Minipak, la cual a partir de ese momento tomó reconocimiento debido a la calidad, eficiencia e innovación que se ha proyectado hasta el momento actual, ya que los productos que elabora y comercializa satisface las necesidades de países latinoamericanos.

De ahí que, se ha considerado en un ejemplo a seguir para que cada vez en el sector, se contempla la producción de este tipo de empaques que aportan a la rentabilidad la empresa y a la sostenibilidad. Ejemplo de esto, se muestra en un crecimiento significativo a lo largo de los años y actualmente factura más de USD 125 millones, gracias a una destacada estrategia de inversión en sus dos plantas en Colombia (Minipack, 2023).

Dicha expansión de este tipo de empresa, se hizo cada vez más notorio, siendo ejemplo de esto, la fundación de la empresa Visipak S.A en el año de 1977, la cual goza de reconocimiento en el mercado desde un primer momento, puesto que, hacia parte del Grupo Carvajal, además porque como objeto social estableció el diseño y producción de empaques plásticos termoformados y empaques metálicos colapsibles". (Semana Revista, 2017)

Cada una de estas empresas, se fueron consolidando en referentes, para seguir en una expansión constante, tanto así que, en el momento actual se puede relacionar alrededor de 3.600 empresas dedicadas a la producción de plástico, las cuales según el último informe de ACOPLASTICOS tienen una participación por valor de la producción distribuida así:

En la elaboración de artículos plásticos (CIU 222), las siete regiones enumeradas participaron con el 94,5% del valor de la producción bruta, Bogotá D.C. (29,9%), Cundinamarca (19,8%) y Antioquia (18%), seguidos por Bolívar (11,4%), Valle del Cauca (9,6%) y Atlántico (4,4%). (PEC 2022, n.d.).

Dicho participar, se ha venido generado debido a que se ha dado lugar a innovar en nuevos productos, destacándose aquellos denominado empaques flexibles, los cuales

con el pasar del tiempo se ha consolidado en uno de los productos de mayor demanda, ya que los mismos se caracterizan por ser económicos y con una capacidad de conservación de las propiedades los productos que se empacan en los mismos.

Cada uno de estos avances, se ha logrado debido a que los directivos de las empresas nombradas y otras más que cada vez se suman a la producción de empaques flexibles, han comprendido que una estrategia de crecimiento y posicionamiento en el mercado local e internacional, es invirtiendo en innovación, tecnología y conocimiento, puesto que este permite aplicar cada vez procesos productivos que reduzca costos, potencie la calidad y garantice la satisfacción de los clientes.

Concluyendo, es pertinente referenciar que la propuesta de este tipo de empresa que data de la década de los treinta, se ha venido proyectando cada vez más sosteniendo la tendencia del empaque flexible, apoyándose en la I + D, el cual les da la posibilidad de ser competitivas en un mercado cambiante y globalizado.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La economía a nivel mundial se encuentra conformada por diversos sectores productivos, los cuales con su dinámica aportan al desarrollo económico y social en cada una de las naciones. Uno de los más representativos es el industrial, que con el pasar de los años ha sido tildado como uno de los generadores de residuos que contaminan el ambiente, es decir, que se convierte en una amenaza para el logro de la sostenibilidad, un compromiso estipulado en la Agenda para el 2030.

Conviene señalar que, de los productos que generan mayor impacto negativo en el ambiente es el plástico, el cual es materia prima del empaque, enfatizando en este aspecto, es pertinente referenciar que el mundo generó 139 millones de toneladas métricas de desechos plásticos de un solo uso en 2021, lo que representa 6 millones de toneladas métricas más que en 2019, cuando se publicó el primer índice (Whiteman, 2023). Debido a este impacto, es que a nivel global los directivos de las empresas conscientes de la necesidad de contribuir a la sostenibilidad se han dado a la tarea de innovar en sus productos, reflejándose este enfoque en la colocación en el mercado de alternativas de empaques flexibles, que ofrezcan beneficios a las empresas, la comunidad y el ambiente. Ejemplo de esto, se refleja en el continente europeo en donde “en el bienio 2018-20 los desembolsos abordados por las empresas analizadas en el estudio anual alcanzaron los 260 millones de euros de inversión.

Destinados fundamentalmente a activos productivos, mejoras fabriles e I+D+i” (Envasados a terceros, 2022). Debido a este impacto, es que a nivel global los directivos de las empresas conscientes de la necesidad de contribuir a la sostenibilidad se han dado a la tarea de innovar en sus productos, reflejándose este enfoque en la colocación en el mercado de alternativas de empaques flexibles, que ofrezcan beneficios a las empresas, la comunidad y el ambiente. Ejemplo de esto, se refleja en el continente europeo en donde “en el bienio 2018-20 los desembolsos abordados por las empresas analizadas en el estudio anual alcanzaron los 260 millones de euros de inversión. Destinados fundamentalmente a activos productivos, mejoras fabriles e I+D+i” (Envasados a terceros, 2022).

Dicho enfoque, también es adoptado por parte de las empresas latinoamericanas de elaboración de empaques flexibles, es decir, que en estas naciones cada una de las

compañías ha venido tomando una visión futurista, que les permite acoplarse a la tendencia de economía circular, que es base para consolidar la sostenibilidad.

Tal es caso de la empresa Flexo Spring, ubicada en Bogotá, en su informe de sostenibilidad de 2022, el cual marca un hito para la compañía al ser el primer informe generado, la empresa manifiesta que “La historia del proceso sostenible en Flexo viene desde hace más de 30 años, cuando inició con la laminadora Solvent Less, la recuperación de solventes, la puesta en marcha de la planta de reciclaje de plástico postindustrial y los primeros desarrollos de empaques monomateriales, que se pueden reciclar fácilmente”.

Adicional durante el año 2022, “Flexo Spring se comprometió con una continua renovación de sus equipos y significativas inversiones en tecnología, las cuales ascendieron a más de 18.697 millones de pesos. Además, lograron llevar a cabo 298 nuevos desarrollos de empaques, la instalación de 1.350 paneles solares en su planta 2, y la siembra de más de 16.000 árboles en la región de la Orinoquía (en toda la organización se han sembrado 128.000 árboles). Estas iniciativas han permitido disminuir su huella de carbono en 565 toneladas de CO₂eq. Adicionalmente, destinaron 291 millones de pesos para proyectos de índole social”. (Flexo Spring, 2023).

Como se puede observar los empaques flexibles vienen tomando mayor representatividad en el mercado global y nacional, en Colombia la idea de la elaboración de estos, que se remonta a la década de los setenta ha venido tomando mayor fuerza y participación. En este sentido, el sector ha contribuido en el impulso del crecimiento económico del país a través de la generación de empleo y, en cierta medida, ha apoyado en la mitigación de los impactos adversos de la economía.

A pesar de que, es un sector que se muestra dinámico y muestra un escenario de oportunidades, ya que se ha podido proyectar un crecimiento anual de 5,8%, la constante evolución debido a los avances tecnológicos, las demandas cambiantes de los consumidores y la necesidad de proteger el medio ambiente ha generado para la industria de empaques flexibles el desafío de incorporar tecnologías innovadoras que les permitan mejorar su eficiencia, desarrollar productos de mayor calidad y lograr una ventaja competitiva sostenible en mercados clave. Sin embargo, las empresas del sector enfrentan dificultades para adoptar estas tecnologías de manera efectiva.

Los principales problemas que obstaculizan la incorporación de tecnologías innovadoras incluyen:

- Falta de conocimiento sobre las tecnologías disponibles y su aplicación específica en el sector de empaques flexibles.
- Insuficientes recursos financieros y acceso limitado a expertos tecnológicos y programas de capacitación.
- Dificultad para comprender cómo aprovechar las tecnologías innovadoras para lograr la internacionalización y obtener una ventaja competitiva sostenible en mercados clave.

Para abordar estos desafíos, se necesita investigar y desarrollar enfoques estratégicos que permitan a las empresas identificar las tecnologías más relevantes, evaluar su impacto en la competitividad internacional, superar las barreras de implementación y adaptarse de manera efectiva a los mercados internacionales seleccionados.

Debido a esto, se plantea el siguiente interrogante de investigación

¿Cuáles son las estrategias más efectivas para la incorporación de tecnologías innovadoras que facilite la internacionalización del sector de empaques flexibles para alimentos que proporcione la ventaja competitiva sostenible a 2030?

Por lo anterior, el **objetivo general** de la investigación es diseñar un programa estratégico del sector de empaques flexibles de alimentos que incorpore tecnologías innovadoras para la internacionalización a regiones potenciales y alcanzar una ventaja competitiva sostenible a 2030.

Para su desarrollo se plantean los **objetivos específicos**:

- ✓ Identificar las tecnologías más relevantes para el sector de empaques flexibles de alimentos y evaluar su impacto en la competitividad internacional para el año 2030.
- ✓ Analizar las oportunidades y desafíos en los mercados internacionales para el sector de empaques flexibles.
- ✓ Diseñar una hoja de ruta que incorpore tecnologías innovadoras y estrategias que permita a las empresas del sector de empaques flexibles lograr competitividad internacional.

ALCANCE Y DELIMITACIONES DEL ESTUDIO

La presente investigación se enmarca en los siguientes alcances y delimitaciones:

Delimitación temporal: El estudio abarca el período comprendido entre 2024 y 2030, estableciendo este último año como horizonte estratégico para la implementación de las tecnologías innovadoras y la consecución de ventajas competitivas sostenibles en los mercados internacionales. El análisis retrospectivo considera una mirada a la evolución del sector desde sus orígenes en la década de 1930 hasta la actualidad, con el propósito de contextualizar las tendencias y dinámicas que han configurado la industria en el país.

Delimitación geográfica: El ámbito geográfico de la investigación se centra en el sector de empaques flexibles de Colombia, con especial énfasis en las regiones de mayor participación productiva: Bogotá D.C., Cundinamarca, Antioquia, Valle del Cauca, Bolívar y Atlántico, que en conjunto representan el mayor porcentaje del valor de la producción bruta del sector. En cuanto a la internacionalización, el estudio identifica y analiza mercados potenciales en tres regiones a saber Europa, América del Norte y Asia-Pacífico y otras regiones estratégicas que representen oportunidades comerciales para el sector colombiano de los empaques flexibles.

Delimitación sectorial: La investigación se delimita específicamente al sector de empaques flexibles, excluyendo otros segmentos de la industria del plástico y del empaque. Se enfoca en empresas colombianas dedicadas a la producción, diseño y comercialización de soluciones de empaque flexible destinadas a diferentes sectores de la industria, pero con una especial profundidad en el sector de alimentos, considerando

las tecnologías innovadoras, procesos productivos sostenibles y estrategias de competitividad internacional propias de este subsector.

Con el desarrollo de los objetivos anteriormente expuestos y dentro del marco de las delimitaciones establecidas, se pretende identificar el camino que deben seguir las empresas del sector de empaques flexibles con el propósito de incorporar innovación y estrategias para continuar en el mercado y aprovechar las oportunidades que el mercado internacional les pueda ofrecer. La forma de lograrlo se detallará en el siguiente capítulo, donde se desplegará la metodología propuesta.

METODOLOGÍA

Para el desarrollo del trabajo de investigación es de importancia, llevar a cabo una revisión documental, puesto que esta permite abordar diferentes bases de datos y repositorios digitales, seleccionando trabajos académicos, artículos indexados y patentes, los cuales tengan relación con el tema que se indaga. Es decir, que llevar a cabo este proceso permite reconocer elementos teóricos y metodológicos, que sirven de base para dar un abordaje a la respuesta de investigación (Tamayo, 1991).

Fundamentado en esta contextualización, es relevante mencionar en un primer momento a (Ayasta, et al, 2021). En este trabajo de tipo descriptivo y enfoque cualitativo y cuantitativo, se hace referencia a la necesidad que existe en el momento actual para las empresas de ser estratégicas, es decir, que, en el desarrollo de estas, se establece que una propuesta a tener en cuenta es la de fortalecer la gestión basada en la innovación.

En este trabajo, de igual manera se hace referencia a estrategias innovadoras, que permiten expandirse en mercados extranjeros, es decir, que sirven de base para dar un abordaje al plan estratégico, de tal manera que les permita a las empresas del sector de empaques flexibles buscar alternativas de innovación que puedan incorporar en sus procesos productivos y expandirse en el mercado.

El siguiente grafico resume el proceso de la metodología de investigación con los enfoques mencionados y el proceso como se realizó la investigación.

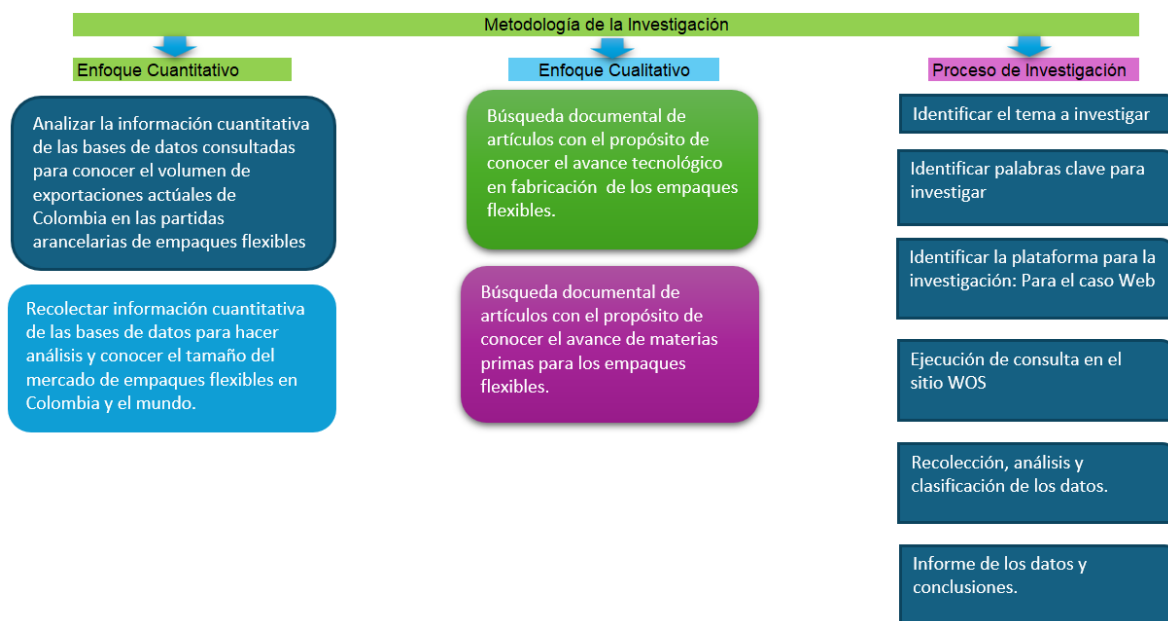


Grafico1: Metodología de investigación; Fuente: Elaboración propia.

Fundamentos metodológicos

El diseño de investigación adoptado corresponde a un estudio no experimental, transeccional -descriptivo, con un enfoque mixto que combina análisis cualitativos y cuantitativos. Este tipo de diseño es común cuando se busca diagnosticar el estado actual

de tecnologías, mercados y regulaciones para luego proyectar escenarios futuros en contextos de innovación (generalmente empleados en prospectiva tecnológica).

Para asegurar la calidad de las fuentes utilizadas, se establecieron criterios claros de inclusión:

- (i) artículos indexados en Web of Science
- (ii) informes técnicos y de organismos reconocidos,
- (iii) registros de patentes consultados en bases oficiales, y
- (iv) documentos publicados en los últimos diez años relacionados directamente con empaques, innovación y sostenibilidad.

Como criterios de exclusión se descartaron documentos sin revisión por pares, sin acceso completo, duplicados o que no aportaran evidencia relevante al objeto de estudio.

El proceso de revisión documental y vigilancia tecnológica siguió un esquema de filtrado secuencial, que incluyó: (1) búsquedas iniciales en bases científicas y de patentes, (2) eliminación de duplicados, (3) preselección por título, resumen y palabras clave, y (4) evaluación de pertinencia y rigor metodológico de cada fuente. Este tipo de esquema garantiza la trazabilidad en la conformación del corpus.

Se complementó con un análisis bibliométrico, identificando tendencias en investigación de empaques sostenibles, tecnología y materiales innovadores, mediante coocurrencia de palabras clave y redes de citación. Este enfoque ha sido utilizado recientemente para explorar vacíos y perspectivas del roadmapping tecnológico, por ejemplo, en "Overview on the technology roadmapping (TRM) literature: gaps and perspectives", donde se aplicó bibliometría al estudio de los enfoques de TRM (Valério et al., 2020).

Para la priorización de tecnologías, se aplicó un método de análisis de criterios con dimensiones como sostenibilidad ambiental, eficiencia de costos, nivel de innovación/adaptabilidad, calidad comercial y acceso a mercados. La asignación de pesos se determinó mediante consulta a expertos, para alcanzar consenso y reducir sesgos (Okoli & Pawlowski, 2004) .

El resultado de este proceso se integró en un roadmap tecnológico 2025-2030, que vincula las fases de adopción con indicadores estratégicos (tecnológicos, comerciales, sociales y ambientales). El uso del roadmapping como herramienta flexible en planificación estratégica es ampliamente respaldado en la literatura (Phaal, Farrukh & Probert, 2004). Además, facilita la alineación entre los recursos tecnológicos y los objetivos organizacionales.

A continuación, se amplía el detalle de cada fase metodológica.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA:

Las disciplinas académicas han evolucionado con el paso tiempo, aún más en las últimas décadas con el advenimiento de la globalización y la tecnología, la administración no ha sido ajena a este proceso, esta razón le ha dado nuevos enfoques y herramientas que pretenden abordar los desafíos del entorno empresarial actual. Estos nuevos retos llevan a la necesidad de realizar una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica relevante que permita identificar los aportes más significativos, las tendencias emergentes y las oportunidades de investigación.

Con el propósito de dar respuesta al problema planteado desde una base teórica y conceptual, se realiza esta revisión bibliográfica, la cual tiene como finalidad contribuir al conocimiento sobre las nuevas tecnologías e innovación para las empresas de empaques flexibles, se trabajó bajo la metodología de selección de la muestra de artículos se llevó a cabo utilizando una ecuación de búsqueda (1) en la base de datos de Web Of Science (WOS).

Ecuación (1): TS=(“food packaging” AND (“packaging materials” OR “biodegradable packaging” OR “compostable” OR “edible packaging” OR “bioplastics” OR “nanomaterials” OR “smart packaging” OR “advanced polymers” OR “sustainability and environment” OR “zero waste” OR “circular economy” OR “plastic reduction” OR “advanced recycling” OR “low carbon footprint” OR “reusable packaging” OR “packaging technology” OR “functional barriers” OR “active packaging” OR “freshness sensors” OR “temperature indicators” OR “antimicrobial packaging” OR “safety and compliance” OR “traceability” OR “regulatory compliance” OR “clear labeling” OR “tamper-proof packaging” OR “consumer trends” OR “personalization” OR “convenience” OR “user experience” OR “e-commerce packaging” OR “augmented reality in packaging” OR “innovation and design” OR “eco-friendly packaging” OR “nanotechnology in packaging” OR “oxygen barrier packaging” OR “shelf-life extension packaging” OR “eco-friendly design” OR “innovation in closures” OR “multifunctional packaging” OR “digital technology and automation” OR “3d printing for packaging” OR “artificial intelligence (ai) in packaging design” OR “blockchain for traceability”)) AND DT=(“article”) AND PY=(2023 OR 2022 OR 2021 OR 2020 OR 2019 OR 2018 OR 2017 OR 2016 OR 2015 OR 2014 OR 2013) and WC=(food science & technology

OR herbicides, pesticides & ground poisoning OR paper & wood materials science)
and WC=(chitosan OR cellulose OR phthalates) and CT=(food science &
technology OR herbicides, pesticides & ground poisoning OR paper & wood
materials science OR chitosan OR cellulose OR phthalates)

Para su elaboración se establecieron los siguientes criterios de inclusión:

- **Título, resumen y palabras clave:** Se buscaron los términos relacionados con empaques de alimentos, incluyendo una amplia gama de aspectos como materiales de envasado, sostenibilidad, innovación tecnológica, seguridad alimentaria, entre otros.
- **Tipo de documento:** Se limitó la búsqueda a artículos científicos ("Article") para garantizar la calidad y relevancia de los resultados.
- **Años de publicación:** Se consideraron artículos publicados desde 2013 hasta 2023 para abarcar la investigación más reciente en el campo del envasado de alimentos.
- **Áreas temáticas y subtemas:** Se incluyeron las áreas temáticas de ciencia y tecnología de los alimentos, herbicidas, pesticidas y envenenamiento del suelo, así como ciencia de materiales de papel y madera. y se especificaron subtemas relevantes como chitosan, celulosa y ftalatos para focalizar la búsqueda en aspectos específicos relacionados con los materiales de envasado.
- **Categorías de citación meso y micro:** Se consideraron las categorías de citación meso y micro para asegurar la relevancia y la profundidad de la investigación en áreas específicas dentro del ámbito del envasado de alimentos y los materiales relacionados. Las categorías de citación meso y micro seleccionadas se

consideran de gran impacto en el campo del envasado de alimentos debido a su relevancia para comprender diferentes aspectos críticos de esta área.

Las categorías meso, como ciencia y tecnología de los alimentos, herbicidas, pesticidas y envenenamiento del suelo, así como ciencia de materiales de papel y madera, abarcan áreas temáticas amplias que tienen una influencia significativa en el desarrollo y la investigación en el envasado de alimentos.

Por otro lado, las categorías de citación micro, como chitosan, celulosa y ftalatos, representan subtemas específicos dentro del ámbito del envasado de alimentos que son de gran relevancia debido a su impacto en el desarrollo de nuevos materiales y tecnologías de envasado, así como en la seguridad y sostenibilidad de los envases.

Al incluir estas categorías en la metodología de selección de la muestra de artículos, se busca asegurar que los journals seleccionados aborden temas de alta relevancia y que contribuyan de manera significativa al avance del conocimiento en el campo de los empaques de alimentos. Esto garantiza que la muestra de artículos seleccionada provenga de fuentes de alto impacto que proporcionen una visión integral y actualizada de la investigación en este campo.

Con la ejecución de la búsqueda y recuperación de resultados de los artículos identificados, se realizó un muestreo sistemático. De esta manera, se seleccionó una muestra inicial compuesta por 135 documentos. Posteriormente, se realizó una submuestra de 79 documentos a partir de análisis documental y se extrajo finalmente una muestra definitiva para configurar el corpus con 50 documentos para ser sometidos a la revisión de contenido. Este proceso de selección se basó en un análisis minucioso de los

metadatos asociados a cada artículo, con el objetivo de garantizar la representatividad y relevancia de la muestra seleccionada para el estudio bibliométrico.

Como se resultado, se identificaron cinco perspectivas de análisis y un corpus de cincuenta artículos de mayor impacto estructural y coyuntural en el campo de estudio (gráfico 2):

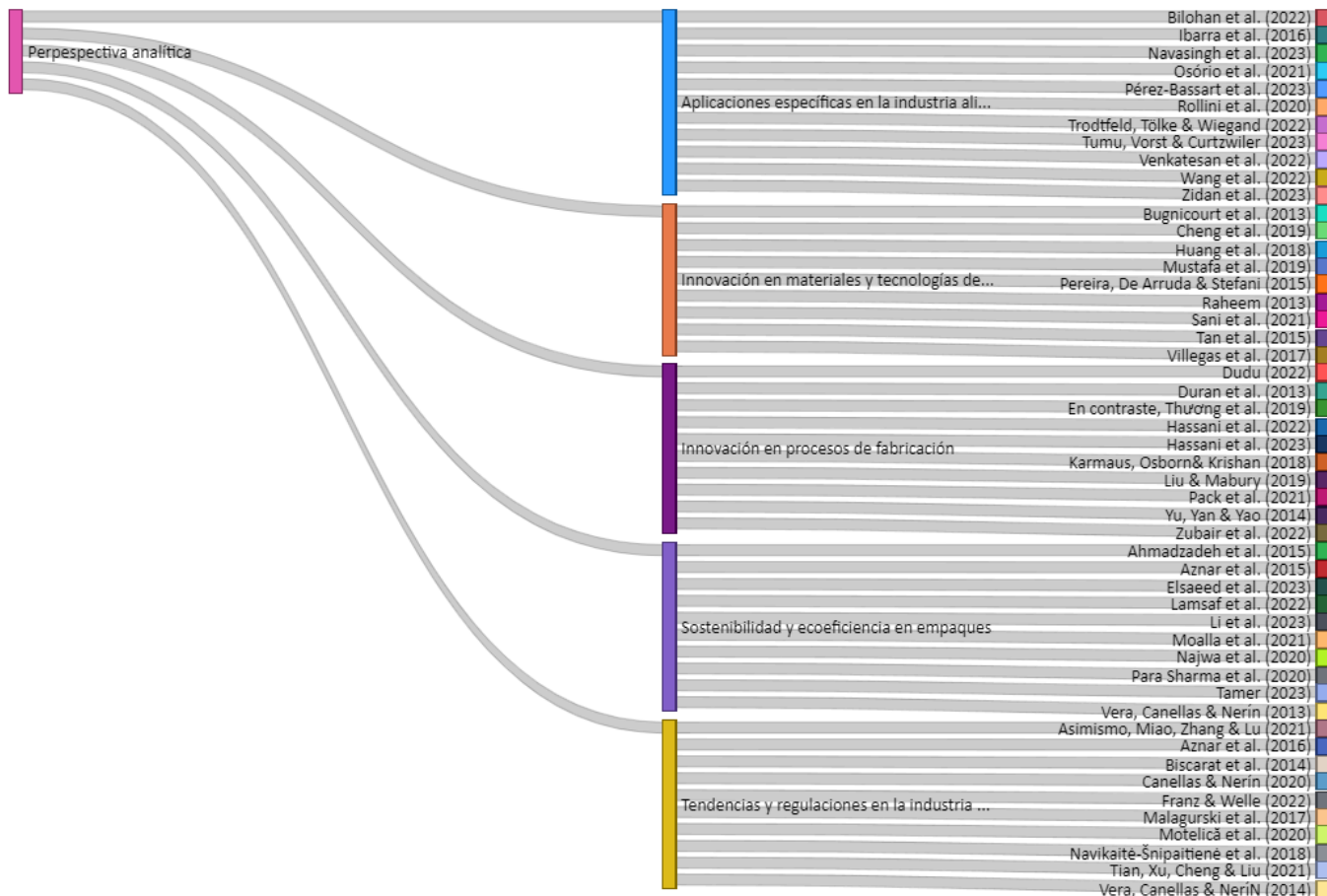


Gráfico 2. Revisión de la literatura en el campo de los empaques flexibles para alimentos **Fuente:** Elaboración propia a partir de los resultados de WOS.

Con base en el análisis de la información del estudio bibliométrico realizado se pretende evidenciar y proponer una ruta sobre cuáles son las estrategias más efectivas para la incorporación de tecnologías innovadoras que facilite mantener la ventaja competitiva

sostenible y la expansión a mercados internacionales las empresas del sector de empaques flexibles.

ANÁLISIS DE MERCADO.

Analizar el comportamiento del entorno en el cual se desenvuelve la compañía y los componentes que podrían afectar su desempeño futuro es importante en el desarrollo de los negocios, conocer las variables que rodean a la empresa permite una toma de decisiones más alineadas a la estrategia o el desarrollo del objetivo de la organización, acorde con esta idea, para realizar el análisis del mercado de este proyecto, se propone el uso del método PESTEL, cuya finalidad es “permite al mánager listar los principales factores macroeconómicos que tienen una influencia potencial en la evolución del futuro de la empresa... ..La identificación de futuras variables macroeconómicas de interés y la construcción de distintas hipótesis permite al mánager anticipar mejor las decisiones estratégicas que hay que tomar para asegurar el buen desarrollo y la perpetuidad de la empresa”. (Steffens et. al 2017).

Como se observa el concepto de PESTEL tiene como objetivo lograr identificar aquellas variables macroeconómicas de los aspectos Político, Económico, Sociocultural, Tecnológico, Ecológico y Legal, que pueden incidir de manera directa en el desempeño de la empresa. Con base en este modelo se pretende identificar en las empresas de empaques flexibles; cuáles son aquellas variables que dentro de las seis categorías mencionadas anteriormente pueden presentar una amenaza u oportunidad, en especial aquellas que tengan carácter de obligatoriedad y sean inevitables.

El siguiente grafico permite ver cuales son algunas de las variables del método PESTEL y sobre las cuales se deben realizar los análisis pertinentes a fin de identificar como esta la empresa y su desarrollo dentro de un entorno:

Ejemplos de las variables macroeconómicas PESTEL



Gráfico 3. Ejemplos de las variables macroeconómicas PESTEL **Fuente:** Steffens, G. (2017). El análisis PESTEL, Asegure la continuidad de su negocio Pag (14).

Con el análisis PESTEL se pretende conocer las implicaciones políticas, económicas, sociales, tecnológicas, ambientales y legales, que tendrán impacto sobre el sector de empaques flexibles, evidenciando riesgos y oportunidades para las organizaciones y

permitan tomar decisiones informadas y desarrollar estrategias más efectivas en su propósito de continuidad de negocio.

VIGILANCIA TECNOLÓGICA

Con el ejercicio de vigilancia tecnológica propuesto para consultar bases de datos bibliográficas, de patentes, se espera identificar áreas tecnológicas y factores críticos relevantes, que a través de su análisis permitan orientar la toma de decisiones estratégicas en las empresas de empaques flexibles según el problema de esta investigación.

- a. **Identificación de áreas de interés y factores críticos a vigilar (FCV):** comienza identificando las áreas tecnológicas relevantes para la organización. Luego, identifica los factores críticos que impactan en esas áreas, como avances tecnológicos, tendencias de mercado, regulaciones, etc.
- b. **Selección de herramientas de vigilancia tecnológica:** identifica las herramientas adecuadas para monitorear los factores críticos seleccionados. Esto puede incluir:
 - i. Bases de datos bibliográficas: para realizar análisis bibliométricos y seguir las publicaciones científicas relevantes.
 - ii. Bases de datos de patentes: para seguir las innovaciones tecnológicas.
- c. **Recopilación de datos:** utiliza las herramientas seleccionadas para recopilar datos relevantes sobre los factores críticos identificados. Esto puede incluir el

análisis de publicaciones científicas, la búsqueda de patentes, seguimiento de noticias y tendencias del mercado.

- d. **Análisis de datos y generación de informes:** analiza los datos recopilados para identificar tendencias, oportunidades y amenazas relevantes.
- e. **Diseño de acciones estratégicas:** utiliza la información obtenida a través del ejercicio de vigilancia tecnológica para guiar la toma de decisiones estratégicas en la organización. Esto puede incluir el desarrollo de nuevas tecnologías, la formulación de estrategias de propiedad intelectual, la identificación de oportunidades de mercado, etc.

Estos insumos nos permitirán evidenciar cuales son las tendencias de tecnologías e innovación tanto en procesos y materias primas para las empresas del sector objeto de esta investigación y permitirán dar la respuesta a la pregunta de investigación resolviendo el objetivo específico de este proyecto de grado.

MARCO TEÓRICO

La industria de empaques flexibles para alimentos enfrenta retos y oportunidades en un entorno global dinámico. Para fortalecer su competitividad, las empresas deben adoptar estrategias que integren tecnologías innovadoras y aseguren una ventaja sostenible. A partir de la revisión científica, se identifican cinco perspectivas clave que orientan el análisis estratégico hacia el horizonte 2030.

La primera perspectiva aborda la innovación en materiales y tecnologías de empaque. En un contexto donde la sostenibilidad y la eficiencia son prioritarias, se requiere el

desarrollo de soluciones de alta calidad que respondan a las exigencias del mercado y promuevan la diferenciación tecnológica.

La segunda perspectiva se enfoca en la innovación en procesos de fabricación. La optimización de la producción mediante tecnologías avanzadas y prácticas eficientes permite reducir costos, mejorar la calidad y fortalecer la competitividad en mercados internacionales.

La tercera perspectiva, centrada en sostenibilidad y ecoeficiencia, subraya la necesidad de aplicar criterios ambientales en todo el ciclo de vida del empaque. Desde la selección de insumos hasta su disposición final, las empresas deben minimizar impactos negativos y fomentar operaciones responsables.

La cuarta perspectiva considera las aplicaciones específicas en la industria alimentaria. Es fundamental diseñar empaques que garanticen la conservación y seguridad de los alimentos, adaptándose a las características de cada producto y a las exigencias de los distintos mercados.

La quinta perspectiva analiza las tendencias y regulaciones del sector. La vigilancia de cambios normativos y la identificación de innovaciones emergentes son esenciales para asegurar el cumplimiento legal y anticiparse a las transformaciones del entorno competitivo.

Estas cinco perspectivas constituyen un marco teórico robusto para formular estrategias de internacionalización en el sector de empaques flexibles, orientadas a consolidar una posición competitiva sostenible hacia el 2030 y más allá.

INNOVACIÓN EN MATERIALES Y TECNOLOGÍAS DE EMPAQUES

La innovación en materiales y tecnologías de empaques flexibles para diferentes tipos de industrias está transformando la forma de envasar, proteger y entregar productos. Estas tendencias incluyen materiales sostenibles y tecnologías avanzadas que buscan mejorar la calidad, seguridad y sostenibilidad.

Pereira, De Arruda & Stefani (2015) proponen estrategias como los indicadores de tiempo-temperatura basados en PVA/Quitosano con antocianinas, capaces de detectar cambios de pH por variaciones térmicas, permitiendo monitoreo en tiempo real de la calidad alimentaria.

Tan et al. (2015) desarrollaron películas de quitosano con extracto de semilla de pomelo, que presentan propiedades antifúngicas sin comprometer la transparencia, siendo útiles para empaques que requieren visibilidad del producto.

Huang et al. (2018) analizan nanomateriales inorgánicos y orgánicos, destacando sus propiedades antimicrobianas y de seguridad. Su revisión muestra cómo estos materiales funcionalizados están revolucionando el envasado de alimentos.

Sani et al. (2021) introducen películas colorimétricas pH-sensibles hechas de nanofibras de quitina y metilcelulosa con antocianinas de barberry rojo. Estas detectan deterioro por cambio de color y ofrecen propiedades antioxidantes y antimicrobianas.

Villegas et al. (2017) presentan la impregnación supercrítica de cinamaldehído en películas de ácido poliláctico, logrando mejoras en barrera, mecánica y actividad antimicrobiana, como alternativa sostenible para empaques activos.

Raheem (2013) revisa el papel histórico del plástico y papel en el envasado alimentario, destacando sus propiedades y esfuerzos actuales por garantizar calidad durante almacenamiento y distribución.

El autor también identifica tendencias emergentes como el envasado con atmósfera modificada, activo e inteligente, y el uso de agentes antimicrobianos, subrayando su impacto futuro en la industria alimentaria y el medio ambiente.

Cheng et al. (2019) desarrollan películas con ciclodextrina-beta y carvacrol para champiñones blancos, mostrando eficacia antifúngica contra trichoderma sp. y mejoras en propiedades físicas, mecánicas y de barrera.

Además, destacan la eficiencia de encapsulación y liberación controlada de CAR, junto con el aumento de enzimas antioxidantes, lo que contribuye a mitigar el daño oxidativo y prolongar la vida postcosecha.

Mustafa et al. (2019) formulan películas biodegradables de alcohol polivinílico y almidón con propóleos y antocianinas, que ofrecen actividad antimicrobiana, respuesta visual al pH y mejoran la seguridad alimentaria.

Bugnicourt et al. (2013) proponen recubrimientos de proteína de suero para películas plásticas, con alta barrera a oxígeno y humedad, reciclables mediante enzimas y con menor impacto ambiental según análisis de ciclo de vida.

Las estrategias innovadoras en empaques incluyen indicadores de tiempo-temperatura, películas antifúngicas, colorimétricas y biodegradables, todas orientadas a mejorar la seguridad y prolongar la vida útil de los alimentos.

El uso de recubrimientos sostenibles y tecnologías inteligentes refuerza la frescura y protección microbiana, mientras que los avances en materiales como proteína de suero contribuyen a la sostenibilidad de la cadena alimentaria.

En conjunto, estas innovaciones representan un progreso hacia soluciones que elevan la seguridad, calidad y sostenibilidad de los productos alimenticios en toda su cadena de producción y distribución.

INNOVACIÓN EN PROCESOS DE FABRICACIÓN

La innovación en los procesos de fabricación de empaques flexibles para alimentos está transformando la producción y entrega de envases mediante técnicas más eficientes y sostenibles, orientadas a mejorar la calidad, seguridad y funcionalidad.

Yu, Yan & Yao (2014) desarrollan una película transparente basada en PHBV y nanocristales de celulosa funcionalizados (CNC-me), logrando mejoras en propiedades mecánicas, térmicas y de barrera frente al PHBV puro, gracias a una dispersión uniforme e interacción optimizada en la interfaz.

Pack et al. (2021) analizan la migración de compuestos desde envases alimentarios, detectando niveles bajos pero significativos, especialmente tras calentamientos repetidos en microondas, lo que plantea desafíos en seguridad alimentaria y exposición del consumidor.

Karmaus, Osborn & Krishan (2018) destacan los retos científicos en la evaluación de seguridad y sostenibilidad de materiales de empaque, proponiendo métodos analíticos

emergentes y modelos mejorados de exposición para abordar la migración de contaminantes.

Zubair et al. (2022) revisan el uso de aceites esenciales en biopolímeros, resaltando su potencial para mejorar propiedades antimicrobianas y antioxidantes en envases, y subrayando avances en su incorporación como alternativa sostenible.

Thưong et al. (2019) presentan películas comestibles de quitosano con extracto de hoja de piper betle linn, que mejoran la actividad antimicrobiana y antioxidante, además de incrementar la resistencia al agua y reducir la permeabilidad al vapor.

Duran et al. (2013) analizan la presencia de metales como hierro, cobalto, níquel y plomo en materiales de empaque, evidenciando la necesidad de monitorear su migración hacia los alimentos para garantizar la inocuidad.

Liu & Mabury (2019) investigan la contaminación por iniciadores de fotopolimerización en envases y ambientes interiores, detectando concentraciones relevantes en polvo doméstico y destacando la importancia de mitigar estos contaminantes.

Hassani et al. (2022) demuestran que la lignina residual mejora la adhesión, resistencia al agua y al fuego en papeles celulósicos para empaque, proponiendo su uso como estrategia para optimizar materiales basados en celulosa.

Hassani et al. (2023) proponen películas de acetato de celulosa con titanato de estroncio para degradación fotocatalítica de compuestos migratorios en envases impresos, mostrando actividad antimicrobiana y potencial para tratamiento de aguas residuales contaminadas.

Dudu (2022) desarrolla un hidrogel inteligente con gelatina, ácido cítrico y escaramujo como sensor de color, con propiedades antimicrobianas y antioxidantes, eficaz en leche y queso, y útil para detectar deterioro físico y biológico en alimentos envasados.

En conjunto, la innovación en procesos de fabricación revela un panorama prometedor, con avances en materiales biodegradables, nanoestructurados y funcionales que mejoran las propiedades de barrera, mecánicas y antimicrobianas. Tecnologías emergentes como la fotopolimerización y la nanotecnología permiten el desarrollo de envases inteligentes capaces de preservar la frescura y mitigar contaminantes, fortaleciendo la seguridad y sostenibilidad en la industria alimentaria.

SOSTENIBILIDAD Y ECOEFICIENCIA EN EMPAQUES

La perspectiva de sostenibilidad y ecoeficiencia en empaques alimentarios se enfoca en el desarrollo de soluciones que reduzcan el impacto ambiental y promuevan prácticas responsables en toda la cadena de producción.

Sharma et al. (2020) destacan el uso de agentes antimicrobianos naturales como aceites de tomillo y clavo en películas PLA-PBAT, que mejoran la actividad antimicrobiana y el bloqueo UV, contribuyendo a la prolongación de la vida útil de los alimentos.

Moalla et al. (2021) evidencian que la incorporación de extractos de *artemisia campestris* en matrices de quitosano mejora las propiedades antioxidantes y de barrera UV, gracias a interacciones moleculares que fortalecen la estructura de las películas compuestas.

Ahmadzadeh et al. (2015) proponen espumas nanocompuestas de celulosa con montmorillonita modificada como alternativa al poliestireno expandido, mejorando el aislamiento térmico y las propiedades mecánicas mediante la reducción del tamaño celular.

Aznar et al. (2015) utilizan técnicas como UPLC-MS/QTOF para identificar migrantes no volátiles en adhesivos de envases, aportando herramientas analíticas clave para garantizar la seguridad alimentaria y cumplir con normativas regulatorias.

Vera, Canellas & Nerín (2013) enfrentan el reto de identificar compuestos migrantes desconocidos en adhesivos, logrando detectar amidas y sustancias clasificadas por toxicidad mediante espectrometría de masas, lo que refuerza la vigilancia sanitaria.

Najwa et al. (2020) analizan películas de gelatina con caolín, que presentan menor permeabilidad al vapor de agua y actividad antimicrobiana contra bacterias gram-positivas y gram-negativas, posicionándolas como opciones viables para envasado activo.

Li et al. (2023) desarrollan un material inteligente con alginato de sodio y puntos cuánticos de carbono, capaz de liberar agentes antibacterianos y monitorear el pH en tiempo real, ofreciendo una solución biobasada para envases sostenibles e inteligentes.

Elsaeed et al. (2023) presentan bioplásticos de alcohol polivinílico y goma de gelano enriquecidos con extractos de guayaba y garbanzo, que muestran propiedades mecánicas competitivas y una degradación ambientalmente segura, validada por análisis de ciclo de vida.

Tamer (2023) propone películas de quitosano y celulosa hidroxietil con arcilla nanofílica organofílica, que mejoran la hidrofobicidad, resistencia al agua y actividad antibacteriana, consolidándose como alternativas sostenibles frente a polímeros convencionales.

Lamsaf et al. (2022) investigan nanoestructuras metálicas de zinc y hierro en recubrimientos activos, destacando su capacidad antibacteriana y de absorción de oxígeno, aunque advierten que el hierro puede limitar la eficacia frente a ciertas cepas microbianas.

En síntesis, la investigación en sostenibilidad y ecoeficiencia en empaques alimentarios avanza hacia soluciones activas e inteligentes basadas en materiales naturales y biobasados. Estos desarrollos permiten prolongar la vida útil de los alimentos, reducir el desperdicio y mitigar el impacto ambiental, consolidando un enfoque integral para la seguridad alimentaria y la innovación responsable.

APLICACIONES ESPECÍFICAS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

La perspectiva de aplicaciones en la industria alimentaria destaca el papel estratégico de los envases activos, biodegradables e inteligentes como herramientas clave para mejorar la seguridad, conservación y sostenibilidad en la cadena de suministro alimentaria. Estos desarrollos, sustentados en nanotecnología y economía circular, permiten abordar desafíos críticos como el desperdicio alimentario, la migración de compuestos y la eficiencia funcional de los materiales.

Ibarra et al. (2016) identifican compuestos volátiles migratorios en tintas y barnices de envases multicapa, subrayando la necesidad de evaluar la seguridad alimentaria mediante espectrometría de masas. Este enfoque analítico fortalece la trazabilidad y control de calidad en sistemas de envasado.

Rollini et al. (2020) proponen el uso de subproductos como el permeado de suero de queso para fabricar envases antimicrobianos, integrando bacteriocinas y nanocristales. Su estudio demuestra cómo la valorización de residuos industriales puede generar soluciones sostenibles y funcionales para productos lácteos frescos.

Osório et al. (2021) analizan la migración de oligómeros desde biopolímeros de ácido láctico y almidón, aportando métodos analíticos precisos para garantizar la conformidad legal y la inocuidad de los envases alimentarios.

Zidan et al. (2023) desarrollan películas de quitosano y polietilenglicol con extracto de desechos de dátiles, mejorando la estabilidad térmica y la capacidad antimicrobiana, lo que prolonga la frescura de frutas como las fresas durante el almacenamiento.

Venkatesan et al. (2022) incorporan goma de almendra en matrices de quitosano, logrando películas con alta resistencia mecánica, propiedades de barrera y actividad antimicrobiana, posicionándolas como alternativas viables en el envasado de alimentos.

Pérez-Bassart et al. (2023) valorizan residuos de *agaricus bisporus* para producir películas biodegradables con cera de abejas, que presentan óptimas propiedades de barrera y rápida descomposición en compostaje, alineándose con principios de sostenibilidad.

Wang et al. (2022) evalúan la migración de ftalatos en envases de comida para llevar, identificando cinco compuestos bajo condiciones reales. Aunque no se superan los límites de riesgo, el estudio enfatiza la necesidad de regulación y monitoreo constante.

Bilohan et al. (2022) desarrollan laminados de pullulan/papel/zeína con microestructura cohesiva y propiedades antioxidantes y antimicrobianas, mejorando la textura y vida útil de productos como el jamón fresco.

Trodtfeld, Tölke & Wiegand (2022) sintetizan recubrimientos de barrera de oxígeno funcionalizados con ácido fumárico, demostrando alta biocompatibilidad y actividad antimicrobiana, lo que los posiciona como portadores bioactivos en sistemas de envasado.

Navasingh et al. (2023) producen bioplásticos a base de almidón con carbonato de calcio y plastificantes como glicerol y sorbitol, obteniendo materiales con propiedades versátiles para aplicaciones en envasado, en respuesta a la demanda global de alternativas al plástico convencional.

Tumu, Vorst & Curtzwiler (2023) proponen el uso de polímeros reciclados postconsumo en contacto con alimentos, identificando compuestos como alcoholes y fenoles mediante cromatografía de gases-espectrometría de masas. Su estudio aporta una visión crítica sobre los riesgos y oportunidades en el marco de la economía circular.

En conjunto, estos estudios evidencian cómo la innovación en aplicaciones de envases alimentarios no solo mejora la seguridad y conservación de los productos, sino que también aporta valor estratégico a la sostenibilidad industrial, este artículo propende argumentar que la integración de tecnologías emergentes, la valorización de residuos y

el cumplimiento normativo son pilares para la competitividad internacional del sector de empaques flexibles. La articulación de estos avances con políticas de innovación y sostenibilidad puede posicionar a las empresas como líderes en mercados exigentes, alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y las tendencias globales de consumo responsable.

TENDENCIAS Y REGULACIONES EN LA INDUSTRIA DEL EMPAQUE

La perspectiva de tendencias y regulaciones en la industria del empaque alimentario se centra en comprender los cambios normativos y tecnológicos que inciden en el desarrollo, comercialización y seguridad de los envases. Este enfoque es esencial para que las empresas se adapten a las exigencias del mercado global, cumplan con estándares legales y fortalezcan su competitividad.

Malagurski et al. (2017) desarrollaron películas nanocompuestas de agar mineralizadas con zinc, que presentan propiedades mecánicas mejoradas y actividad antimicrobiana contra *S. aureus*, lo que refuerza la tendencia hacia envases activos y sostenibles.

Vera, Canellas & Nerín (2020) identificaron compuestos responsables de olores en materiales plásticos y de papel mediante análisis de migración y evaluación sensorial, destacando la necesidad de garantizar tanto la seguridad como la calidad organoléptica de los alimentos envasados.

Motelică et al. (2020) proponen empaques antimicrobianos basados en biopolímeros naturales y sintéticos, como polisacáridos, lípidos y proteínas, que ofrecen propiedades

antibacterianas, antifúngicas y antioxidantes, alineándose con la transición hacia materiales biodegradables y comestibles.

Navikaitė-Šnipaitienė et al. (2018) desarrollaron recubrimientos antioxidantes con aceite esencial de clavo y eugenol para carne fresca, demostrando eficacia en la inhibición de la oxidación lipídica y contribuyendo a la extensión de la vida útil del producto.

Miao, Zhang & Lu (2021) crearon películas activas con almidón de maíz y polifenoles del té, que ofrecen liberación controlada, barrera UV y propiedades antioxidantes, lo que las convierte en soluciones funcionales para el envasado inteligente.

Franz & Welle (2022) abordan la calidad de los plásticos reciclados en contacto con alimentos, destacando los criterios de evaluación de seguridad establecidos por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria, en el marco de la economía circular.

Aznar et al. (2016) confirman la presencia de componentes de tintas en materiales de envasado mediante espectrometría de masas, subrayando la importancia de esta tecnología para garantizar la seguridad de los envases.

Tian et al. (2021) mejoraron películas de quitosano con sílice y beta-ácidos, logrando resistencia mecánica, actividad antioxidante y control de parámetros de oxidación en aceite de soja, lo que evidencia su potencial en aplicaciones reguladas.

Vera, Canellas & Nerín (2014) analizaron la migración de compuestos desde adhesivos en materiales multicapa, detectando 25 sustancias, de las cuales el 76% migraron a simulantes alimentarios, lo que plantea riesgos y la necesidad de monitoreo normativo.

Biscarat et al. (2014) desarrollaron bioplásticos verdes a base de gelatina sin solventes, con propiedades de resistencia al agua y conservación de frescura, posicionándolos como alternativas sostenibles para el envasado alimentario.

En conjunto, estos estudios evidencian que las tendencias emergentes y las regulaciones en la industria de los empaques flexibles están orientadas hacia la innovación funcional, la sostenibilidad y la seguridad y que la capacidad de las empresas para anticiparse y adaptarse a estos cambios normativos y tecnológicos será determinante en su posicionamiento competitivo internacional. La integración de materiales activos, biodegradables y regulatoriamente conformes no solo responde a exigencias legales, sino que se convierte en un diferenciador estratégico en mercados exigentes y sostenibles.

SÍNTESIS DEL ANÁLISIS

La incorporación efectiva de tecnologías innovadoras que faciliten la internacionalización de una empresa de empaques flexibles para alimentos y promueven el desarrollo de una ventaja competitiva sostenible hacia el año 2030 se fundamenta en diversas estrategias clave identificadas a partir de la síntesis de la literatura disponible.

La investigación en sostenibilidad y ecoeficiencia en empaques alimentarios está en constante evolución, ofreciendo soluciones innovadoras y prometedoras para abordar los desafíos ambientales y de seguridad alimentaria. La incorporación de materiales naturales y biobasados en envases activos e inteligentes prolonga la vida útil de los productos alimenticios y reduce el desperdicio, minimizando así el impacto ambiental y satisfaciendo la creciente demanda de prácticas de producción responsables.

Las estrategias dirigidas al desarrollo de envases activos y biodegradables, junto con la valorización de subproductos industriales, mejoran la seguridad y conservación de los productos alimenticios y contribuyen a la reducción del desperdicio alimentario y promueven prácticas más sostenibles en toda la cadena de suministro.

En cuanto a las tendencias y regulaciones en la industria del empaque, se destaca la importancia de adaptarse a los cambios del mercado y cumplir con estándares legales y de calidad. Estas estrategias garantizan la seguridad alimentaria y permiten a las empresas mantener una posición competitiva sólida en un entorno en constante evolución.

La búsqueda continua de innovación y tecnología en la industria de empaques flexibles para alimentos ofrece soluciones efectivas para mejorar las propiedades funcionales de los envases. Desde recubrimientos antioxidantes hasta la aplicación de nanotecnología, estas innovaciones aseguran la calidad y seguridad de los alimentos, extendiendo su vida útil y preservando su frescura.

En general, la comprensión del mercado global y la diferenciación son esenciales para alcanzar una ventaja competitiva sostenible. Por ello, las estrategias para la internacionalización y la adaptación a las demandas del consumidor, respaldadas por tecnologías innovadoras y en línea con las regulaciones, permiten a las empresas destacarse en un entorno altamente competitivo, garantizando su crecimiento en el tiempo.

MARCO TEÓRICO–CONCEPTUAL–CONTEXTUAL

El marco teórico, conceptual y contextual de la investigación se fundamenta en tres ejes principales: la ventaja competitiva sostenible, las capacidades dinámicas y los procesos de internacionalización. Estos conceptos permiten comprender cómo las empresas del sector de empaques flexibles pueden sostener posiciones estratégicas en mercados globales al integrar innovación tecnológica, sostenibilidad y estrategias de adaptación frente a un entorno en permanente transformación.

La ventaja competitiva sostenible se asocia con la capacidad de las organizaciones para mantener resultados superiores en el tiempo mediante recursos y capacidades difíciles de imitar, entre los cuales se destacan la incorporación de tecnologías innovadoras, la gestión ambiental eficiente y la diferenciación en la propuesta de valor. A su vez, este planteamiento se vincula con la noción de capacidades dinámicas, entendidas como la habilidad de las empresas para integrar, construir y reconfigurar competencias internas y externas frente a cambios en el entorno. En la industria de empaques, estas capacidades se manifiestan en la agilidad para adoptar tecnologías como los biopolímeros, la nanotecnología o el reciclaje avanzado, así como en la flexibilidad para ajustarse a nuevas regulaciones internacionales relacionadas con la sostenibilidad y la restricción de plásticos de un solo uso.

La internacionalización constituye el tercer eje del marco, pues los mercados externos imponen estándares ambientales, requisitos regulatorios y dinámicas competitivas que condicionan la adopción tecnológica. La literatura en gestión internacional señala que los procesos de internacionalización son graduales y dependen tanto de las capacidades internas de la empresa como de su habilidad para absorber y aplicar conocimiento

tecnológico. En este contexto, la interacción entre las presiones del entorno y las capacidades dinámicas internas resulta determinante para explicar las trayectorias de innovación y el posicionamiento internacional del sector.

Este marco articula en un modelo conceptual que busca representar los vínculos causales entre los elementos centrales de la investigación. El entorno, caracterizado por regulaciones, tendencias de mercado y presiones competitivas, actúa como detonante de procesos de transformación organizacional. Dichos procesos se soportan en las capacidades de investigación y desarrollo, las alianzas estratégicas y el talento humano, que a su vez posibilitan la adopción tecnológica en función de la madurez, los costos y la compatibilidad de las innovaciones con los procesos existentes. Finalmente, los efectos de esta adopción se expresan en el desempeño empresarial medido a través de indicadores tecnológicos, ambientales, comerciales y sociales.

Para lograr mayor desarrollo analítico, se requiere complementar este marco con definiciones operativas de los constructos centrales como sostenibilidad, innovación, adopción tecnológica y desempeño competitivo, así como la operacionalización que precise las variables y los indicadores que permitirán su contraste en los capítulos posteriores. Esta incorporación permitirá pasar de un marco descriptivo a uno de carácter analítico-aplicado, que asegure la trazabilidad entre la fundamentación teórica, el diseño metodológico y los resultados esperados.

OBJETIVO 1: IDENTIFICAR LAS TECNOLOGÍAS MÁS RELEVANTES PARA EL SECTOR DE EMPAQUES FLEXIBLES DE ALIMENTOS Y EVALUAR SU IMPACTO EN LA COMPETITIVIDAD INTERNACIONAL PARA EL AÑO 2030.

TENDENCIAS GLOBALES EN EMPAQUES FLEXIBLES DE ALIMENTOS

La Real Academia de la Lengua Española (RAE, 2008) considera que la palabra tendencia se puede asociar a la inclinación que pueden tener las personas hacia la realización de determinados fines.

Por otra parte, la referencia a Industria global se relaciona con los mercados de todo el mundo que ofrecen bienes o servicios, que se organizan a fin de reducir los riesgos propios de la actividad comercial a escala global, de tal forma que no existan consecuencias presentes ni futuras entre los clientes y los productores. (Salvador, 2018)

Con respecto al concepto de envase, este se puede entender como el compartimiento que se usa para contener cualquier tipo de mercancía, el cual puede ser fabricado con diferentes tipos de materiales, Rodríguez (2013) señala que, el propio producto puede tener diversas formas de recubrimientos los cuales pueden ser comestibles, lo cual ayuda a que se alargue la vida útil del producto, así mismo también a mantener las características organolépticas del mismo.

Se puede considerar que el empaque recubre, cualquier objeto o alimento, que puede tener o no previamente un envase, con el objetivo de cuidarlo de cualquier daño y llegar en óptimas condiciones al cliente (Fischer y Espejo, 2011)

Además de cumplir funciones de preservación todo envase debe satisfacer ciertas necesidades entre ellas, la de dar a conocer el distintivo y los beneficios del producto que ayudarán a los consumidores a poder elegir aquellos que se adecúen a sus gustos y economía.

EMPAQUE PARA ALIMENTOS

El empaque de los alimentos está diseñado para proteger, proporcionar información sobre el alimento y facilitar su manipulación para su almacenamiento y distribución. En este sentido, los empaques tienen un papel crucial en el proceso de calidad, seguridad y extensión de la vida útil de los alimentos (Vasile et al., 2021). Los plásticos derivados de combustibles fósiles son los que más se utilizan para este envasado, pero con el aumento exponencial del flujo global de estos materiales hacia los océanos y las preocupaciones por el medio ambiente, en los últimos años han surgido nuevas tecnologías en empaques, algunos con materiales ecológicos que se han empezado a utilizar en la industria de empaques (Nilsen et al., 2021).

Sin embargo, no se tienen totalmente claras las ventajas de estas nuevas tecnologías de empaques entre ellos los bioempaques respecto a los empaques tradicionales, especialmente en aspectos como el mercado, propiedades mecánicas, de barrera, biodegradabilidad y normatividad.

DEMANDA Y CAMBIOS EN LAS PREFERENCIAS DE LOS CONSUMIDORES

Los cambios de las preferencias de los consumidores han ido avanzando de acuerdo con las tendencias que han ido emergiendo en la sociedad, así se ha ido migrando de

empaques que se producían en base a productos químicos sin embargo la tendencia y las preferencias actuales alienadas con la protección del medio ambiente, han generado una demanda creciente por empaques que se conocen como bioempaques.

La tabla muestra los principales empaques usados en la industria, así como la descripción y usos de cada uno de ellos.

ABREVIATURA	NOMBRE TECNICO	DESCRIPCIÓN Y USOS
PEBD - LDPE	Polietileno de baja densidad	Termoplástico que se emplea para la fabricación de films retráctiles industriales, de laminación, bolsas o sacos
PEMD	Polietileno de media de densidad	Componente ideal de envases como tubos stand up puch, envoltorios, bolsas de leche y películas
PEAD - HDPE	Polietileno de alta densidad	Termoplástico para enases de alimentos y productos químicos en forma de evases, garrafas y botellas
CPP	Polipropileno fundido	Usado para la producción de frascos y botellas
OPP	Polipropileno bidireccional	Se caracteriza por su alta transparencia y fragilidad. Se emplea en la industria de alimentos, papel entre otras.
PvC	Policloruro de vinilo	Termoplástico con excelentes propiedades organolépticas que no interaccionan con los alimentan
Envase de vidrio	Vidrio	Puede almacenar cualquier producto, no permite el traspaso de oxígeno y no alterael color ni el sabor.
PET	Tereftalato de polietileno	Termoplásticos que se utilizan para fabricar botellas
OPS	Poliestireno Orientado	Usado en etiquetas, sobres, cajas plegables, películas, laminación y embalaje.

Tabla 1: Fuente: Elaboración propia en base a Acosta et al.,2023

La siguiente tabla muestra la descripción de los principales bioempaques usados en la industria.

ABREVIATURA	NOMBRE TECNICO	DESCRIPCIÓN Y USOS
Almidón	Almidón	En el envasado se mezcla con otros polímeros como el PVC. Se extrae del trigo, arroz, papas y maíz.
Celulosa	Celulosa	Se usa en empaques debido a su alta resistencia y buenas propiedades de barrera.
Quitina / quitosano	Quitina	De los más abundantes en la naturaleza, se usa en películas debido a sus propiedades antimicrobianas
Gluten de trigo	Gluten de trigo	Se le agregan aditivos para que pueda usarse en empaques, es de bajo costo
Colágeno / Gelatina	Colágeno / Gelatina	Sus propiedades mecánicas y de barrera no son estables, por lo que se le agregan varios aditivos para fabricar películas de envasado de alimentos.
PLA	Acido Poliláctico	Se puede utilizar para fabricar recipientes siendo un material similar al plástico, se obtiene de la fermentación de maíz
PCL	Policaprolactona	Se mezcla con almidón o quitosano para mejorar las propiedades por lo que los alimentos almacenados tienen una vida útil más larga.
PGA	Polímeros de ácido poliglicólico	Soluble por lo que puede usarse para formar películas poliméricas.
PBS	Polímeros de ácido poliglicólico	Gran compatibilidad con fibras por lo que se usa para películas para alimentos

Tabla 2: Fuente: Elaboración propia en base a Acosta et al.,2023

TECNOLOGÍAS APLICABLES AL SECTOR

Las tecnologías emergentes aplicadas a un sector de producción son aquellas innovaciones tecnológicas en fases tempranas de adopción que tienen el potencial de transformar radicalmente los procesos productivos, mejorando su eficiencia, sostenibilidad, adaptabilidad y competitividad en el mercado. Estas tecnologías incluyen, entre otras, la inteligencia artificial, manufactura aditiva, automatización avanzada, I o T industrial, biotecnología y materiales inteligentes (Rotolo et al., 2015)

En el caso del sector de empaques flexibles, en un entorno marcado por la transformación y las exigencias crecientes del mercado global, han llevado al embalaje a dejar de ser un simple contenedor para convertirse en un eje estratégico que integra sostenibilidad, funcionalidad, experiencia de marca y eficiencia operativa. Esta evolución se ve potenciada por la incorporación de tecnologías emergentes, que no solo reducen el impacto ambiental, sino que fortalecen la competitividad de las organizaciones frente a consumidores más conscientes y regulaciones más estrictas.

Este apartado se centra en identificar y evaluar las tecnologías innovadoras en materiales y procesos que contribuyen a la industria, proporcionando una ventaja competitiva sostenible a nivel local e internacional para los fabricantes del sector de empaques flexibles. Configurando así, el mercado futuro del empaque flexible, destacando su potencial para optimizar procesos, reducir el impacto ambiental y responder a las exigencias del mercado global.

El sector de empaques flexibles de alimentos enfrenta un escenario dinámico y desafiante, donde la innovación tecnológica se erige como un pilar fundamental para garantizar su competitividad internacional. La creciente preocupación por la sostenibilidad y la eficiencia en la cadena de suministro, la identificación de tecnologías emergentes se convierte en una necesidad apremiante. Este capítulo se centra en identificar y evaluar las tecnologías innovadoras en materiales y procesos que contribuyen a la industria, proporcionando una ventaja competitiva sostenible a nivel local e internacional para los fabricantes del sector de empaques flexibles. Configurando así, el mercado futuro del empaque flexible, destacando su potencial para optimizar procesos, reducir el impacto ambiental y responder a las exigencias del mercado global.

Para llevar a cabo este análisis, se implementó un ejercicio de vigilancia tecnológica que combina bibliometría y el estudio de patentes. Este enfoque permite mapear las tendencias actuales en el desarrollo de tecnologías para el empaque flexible y evaluar su impacto en la competitividad internacional del sector hacia el año 2030. A través de una revisión exhaustiva de la literatura y un análisis de patentes, se busca proporcionar una visión integral que facilite la toma de decisiones estratégicas en un entorno en constante evolución, asegurando que las empresas del sector estén preparadas para enfrentar los desafíos y aprovechar las oportunidades que surgirán en el futuro cercano.

CLASIFICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS IDENTIFICADAS

La clasificación propuesta abarca un amplio espectro de tecnologías, desde aquellas basadas en materiales naturales y biodegradables hasta soluciones avanzadas como la nanotecnología y la impresión 3D. Cada grupo tecnológico se ha subdividido en función de sus características específicas y su potencial de aplicación en la industria, teniendo presente cual sería el nivel de exigencia para la adopción de estas tecnologías en el campo de los empaques flexibles.

Así resultante de la clasificación tenemos las tecnologías se tiene lo siguiente:

- a. **Films comestibles y recubrimientos:** Estas tecnologías ofrecen una alternativa sostenible a los envases plásticos convencionales, al proporcionar una barrera protectora y extender la vida útil de los alimentos, aquí aparecen soluciones con bases como: Películas de gelatina, Almidón de papa, Proteína de suero, Películas de quitosano, Celulosa, Ácido poliláctico, Alcohol polivinílico. En la actualidad

empresas como General Mills, Kellogg's, Danone, Mars, Inc., Unilever, Frito-Lay, McCain Foods, Lamb Weston, Nestlé, ya están utilizando soluciones en sus empaques con productos de este tipo.

- b. **Nanotecnología y nanocompuestos:** La incorporación de nanopartículas a los materiales de envasado permite mejorar significativamente las propiedades mecánicas, de barrera y antimicrobianas de los envases, adicional el uso de este tipo de productos permite una reducción importante en las cantidades de materiales a usar, disminución en el espesor permiten usar menos cantidad de material en el logro del empackado.

En este proceso encontramos entre otras soluciones como: Nanopartículas de óxido de cobre, Nanopartículas de plata, Nanopartículas de dióxido de titanio, Nanopartículas de óxido de zinc, Películas nanocompuestas, Nanocristales, Nanofibras, entre otros, la apuesta de empresas del tamaño de Kraft Heinz, Nestlé, General Mills, Unilever, PepsiCo, Danone, Kellogg's, Mars, Inc., Mondelez International, Coca-Cola, Unilever, están haciendo uso de alguno de estos tipos de material lo que permite evidenciar que si hay interés por este tipo de materiales.

- c. **Propiedades mecánicas y de barrera:** Estas propiedades son fundamentales para garantizar la integridad del producto y protegerlo de factores externos como el oxígeno, la humedad y los microorganismos, si bien, en el momento se encuentran materiales como el foil de aluminio, el poliéster metalizado y EVOH que combinados con otros materiales plásticos o papel generan unas barreras que garantizan la conservación de las propiedades organolépticas de los productos, esas combinaciones los hacen materiales difíciles o incluso imposibles de recuperar, el gran reto está en generar materiales de tipo monomaterial de varias

capas que permitan garantizar la vida útil y una entrada en economía circular después del uso de los empaques.

- d. **Propiedades antimicrobianas y antioxidantes:** El desarrollo de envases con propiedades antimicrobianas y antioxidantes puede prolongar la vida útil de los alimentos y reducir el desperdicio alimentario. En este caso la migración de muchas empresas al empaque plástico en bolsas como reemplazo del vidrio, requiere que estos materiales contengan propiedades antioxidantes.
- e. **Propiedades funcionales y de liberación controlada:** Los envases funcionales pueden liberar compuestos activos de forma controlada, lo que permite desarrollar productos con propiedades nutricionales y terapéuticas. Para este caso tecnologías del tipo Liberación controlada, Liberación sostenida, Bioactividad, Péptidos bioactivos, Superficie de respuesta, Encapsulación, buscan contribuir a la detección de alimentos manipulados o en grado de deterioro, como es el caso de las películas que al detectar que el empaque ya ha sido abierto cambian de color en alguna de sus partes.
- f. **Tecnologías emergentes:** Esta categoría incluye tecnologías con un alto potencial de disrupción, como la impresión 3D de envases y los envases con capacidad de autoreparación. En este aspecto se destacan la impresión 3D para crear envases personalizados, nanosensores integrados en los envases que monitorean la frescura y calidad de los alimentos, envases auto-reparadores que prolongan su vida útil, tecnologías inspiradas en la naturaleza que mejoran la sostenibilidad, y envases inteligentes que permiten la interacción directa con los consumidores a través de aplicaciones móviles. Estas iniciativas reflejan un

avance significativo hacia la sostenibilidad y la competitividad en el mercado colombiano.

La siguiente tabla resumen gran parte de las tecnologías descritas anteriormente:

Grupo de Tecnología	Grado de sofisticación tecnológica	Requerimientos para su adopción y desarrollo (transición tecnológica)		
		Alto	Medio	Bajo
Films comestibles y recubrimientos	Básicas o convencionales	Gelatin Films	Potato Starch	Fish Gelatin
		Chitosan Films	Whey Protein	Lactic Acid
		Polylactic Acid (PLA)	Cellulose	Carrageenan
		Polyvinyl Alcohol (PVA)	Casein	Alginate
Nanotecnología y nanocompuestos	Avanzado	Silver Nanoparticles	Nanocomposite Films	Nanohybrids
		Copper-Oxide Nanoparticles	Nanocrystals	Silver Nanoparticle-based Films
		Titanium-Dioxide (TiO ₂) Nanoparticles	Nanoparticle Morphology	Layered Silicate Nanocomposites
		Zinc-Oxide Nanoparticles	Nanofibers	Bionanocomposites
			Nanoscale Technologies	Polymer-Clay Nanocomposites
				Polymer Nanocomposites
Propiedades mecánicas y de barrera	Básicas o convencionales	Barrier Properties	Mechanical Properties	Thermal Properties
		Oxygen Permeability	Tensile Properties	Rheological Properties
			Crystallization Behavior	
			Water Vapor Permeability	
Propiedades antimicrobianas y antioxidantes	Básicas o convencionales	Antioxidant Properties	Antibacterial Agents	Natural Colorants
		Antimicrobial Properties	Essential Oils	Extracts
		Active Films	Bioactive Compounds	Probiotics
Propiedades funcionales y de liberación controlada	Avanzado	Controlled Release	Functional Properties	Bioactive Peptides
		Sustained Release	Response Surface	Encapsulation
		Bioactivity	Diffusion Kinetics	
Procesos de fabricación y evaluación de seguridad	Básicas o convencionales	Manufacturing Processes	Mechanical Testing	Stability Evaluation
		Safety Assessment	Chemical Analysis	Migration Studies
		Exposure Assessment	Degradation Studies	Consensus Statements
		Shelf-Life Assessment	Sorption Behavior	
Tecnologías de reciclaje y sostenibilidad	Básicas o convencionales	Materiales de origen renovable	Reciclaje de plásticos	Tecnologías de reciclaje químico
		Estrategias de diseño para la circularidad	Envases biodegradables	
Tecnologías de impresión y etiquetado	Intermedio	Impresión digital	Etiquetas RFID	Etiquetado inteligente
		Impresión de códigos QR	Tintas comestibles	
Tecnologías de envasado activo e inteligente	Intermedio	Envasado con absorción de oxígeno	Sensores de frescura	Envasado con absorción de etileno
		Envasado con liberación de agentes antimicrobianos	Indicadores de temperatura	
Tecnologías emergentes	Avanzado	Envases inteligentes con capacidad de interactuar con el consumidor	Impresión 3D de envases	Envases con capacidad de autoreparación
		Nanosensores para monitoreo de calidad		Tecnologías de envasado inspiradas en la naturaleza

Tabla 3: Fuente: Elaboración propia en base a datos de Vigilancia Tecnológica.

EVALUACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

La definición de criterios que permitirán medir el impacto de las tecnologías en la competitividad internacional para el año 2030 aborda aspectos centrales como la sostenibilidad ambiental, la eficiencia de costos, la innovación y adaptabilidad, la mejora de la calidad del producto y el acceso a nuevos mercados. Estos criterios son relevantes para la toma de decisiones estratégicas de las empresas y reflejan una respuesta a las demandas crecientes de los consumidores y reguladores en un entorno empresarial en rápida evolución.

La sostenibilidad ambiental se consolida como un criterio clave en la evaluación de tecnologías para empaques, considerando el uso de materiales biodegradables, la reducción de desechos y la huella de carbono como parámetros fundamentales para cumplir con estándares de responsabilidad social y ambiental (Sharma et al., 2020; Motelică et al., 2020). Paralelamente, la eficiencia de costos se analiza en función del retorno de inversión, lo que impacta directamente en la rentabilidad y competitividad empresarial en mercados globales. Finalmente, la innovación y la adaptabilidad se posicionan como factores estratégicos que permiten a las soluciones de empaque evolucionar frente a las demandas cambiantes del mercado y los avances tecnológicos (Miao et al., 2021; Franz & Welle, 2022).

La mejora de la calidad del producto también será evaluada, ya que un empaque efectivo puede influir directamente en la frescura y la integridad de los alimentos, lo que a su vez afecta la satisfacción del consumidor. Finalmente, se considerará el acceso a nuevos mercados, analizando cómo las tecnologías de empaque flexibles pueden facilitar la

expansión tanto nacional como internacional, asegurando que las empresas prosperen en un entorno global interconectado.

La validación de los criterios de evaluación se sustenta en una revisión exhaustiva de literatura científica reciente sobre empaques flexibles para alimentos, complementada con informes oficiales y lineamientos de instituciones líderes del sector (Franz & Welle, 2022; Osório et al., 2021). Este enfoque académico, técnico y productivo garantiza que las decisiones estratégicas se basen en las mejores prácticas y tendencias emergentes, facilitando la identificación de tecnologías relevantes y su impacto en la competitividad internacional en un entorno global dinámico.

A continuación, se define cada criterio y su fundamentación:

- a. Sostenibilidad ambiental: Este criterio evalúa el impacto ambiental de las tecnologías de empaques flexibles, considerando aspectos como el uso de materiales biodegradables, el reciclaje, la reducción de desechos y la huella de carbono. La sostenibilidad ambiental es esencial para garantizar que las innovaciones cumplan con los requisitos de eficiencia y promuevan prácticas responsables que minimicen el daño al medio ambiente. (Wipo, 2024) (FAO, 2023)
- b. Eficiencia de costos: La eficiencia de costos se refiere a la relación entre los costos de producción y los beneficios generados por la tecnología de empaque. Este criterio evalúa si la inversión en nuevas tecnologías se traduce en una reducción de costos operativos, mejoras en la rentabilidad y una mayor competitividad en el mercado. Por tanto, una tecnología eficiente en costos que proporcione un retorno de inversión favorable a las empresas que la adopten, se constituye como un factor clave para su adopción. (Marchi et al., 2024) (Lu et al., 2022)

- c. Innovación y adaptabilidad: Este criterio mide la capacidad de las tecnologías para adaptarse a cambios en las demandas del mercado, regulaciones y avances tecnológicos. La innovación y adaptabilidad son fundamentales para asegurar que las soluciones de empaque flexibles puedan evolucionar y satisfacer las necesidades cambiantes de los consumidores, además de incorporar nuevas tendencias en sostenibilidad y funcionalidad (Euromonitor, 2023)
- d. Mejora de la calidad del producto: Este criterio evalúa cómo las tecnologías de empaque flexibles contribuyen a la preservación y mejora de la calidad de los productos alimenticios. Incluye factores como la protección contra contaminantes, la extensión de la vida útil del producto y la preservación de las características sensoriales. Una mejora en la calidad del producto puede influir directamente en la satisfacción del consumidor y en la reputación de la marca.
- e. Acceso a nuevos mercados: Este criterio analiza la capacidad de las tecnologías de empaques flexibles para facilitar la entrada y expansión en nuevos mercados, tanto nacionales como internacionales. Esto incluye la evaluación de la capacidad de adaptación a diferentes normativas de seguridad alimentaria, preferencias culturales y tendencias del consumidor. Un empaque flexible que permita un acceso más amplio a los mercados puede incrementar la competitividad de las empresas y su participación en el mercado global. (World Trade Report, 2024)

Se presentan las siguientes matrices de evaluación donde se han agrupado las tecnologías según su fuente dando origen a cuatro grandes grupos de tecnologías:

Biopolímeros y Materiales Sostenibles, Nanotecnología y Nanomateriales, Empaques Funcionales y Reciclaje Avanzado, Tecnologías Emergentes y Empaques Inteligentes.

Para la evaluación multicriterio se toma una escala de 1 (bajo) a 5 (alto) basada en la teoría de la toma de decisiones y la evaluación de proyectos, utilizando métodos como el Análisis de Decisiones Multicriterio (ADM). Este enfoque permite comparar opciones considerando varios criterios, asignándoles pesos y puntuaciones para determinar la mejor alternativa. La escala completa se presenta así:

- 5 (Alto): Excelente desempeño en el criterio.
- 4 (Medio-Alto): Tecnología con ventajas significativas, pero con algunas limitaciones.
- 3 (Medio): Cumple el criterio con ciertas restricciones, requiere mejoras.
- 2 (Bajo-Medio): Impacto moderadamente negativo o barreras que dificultan su implementación.
- 1 (Bajo): Cumple parcialmente o tiene dificultades considerables en el criterio

SISTEMA DE PONDERACIÓN DE CRITERIOS

Para establecer la importancia relativa de cada criterio en la evaluación de tecnologías, se implementó un sistema de ponderación fundamentado en una metodología mixta que integra tres componentes: (1) análisis de contenido de informes técnicos y sectoriales, (2) revisión de literatura científica sobre tendencias en empaques flexibles, y (3) juicio de experto basado en más de 16 años de experiencia en el sector de empaques flexibles en Colombia y autor de esta tesis.

Proceso metodológico para la asignación de pesos:

El proceso de ponderación se desarrolló en tres etapas secuenciales:

Primera etapa - Análisis documental: Se realizó una revisión sistemática de informes técnicos de ACOPLÁSTICOS (2020-2024), publicaciones especializadas del sector de empaques (revista El Empaque, data market research, mordor intelligence, entre otros), y documentos de organismos internacionales (FAO, WIPO, World Trade Report). Este análisis permitió identificar la frecuencia y relevancia con que cada criterio aparece como factor crítico de competitividad en el sector a nivel nacional e internacional.

Segunda etapa - Priorización basada en tendencias: Se analizaron las tendencias regulatorias (normativas de economía circular, Ley 2232 de 2022 en Colombia, directivas europeas de plásticos de un solo uso, la agenda 2030), las demandas del mercado (preferencias de consumidores por empaques sostenibles, requisitos de clientes industriales) y los desafíos tecnológicos identificados en la vigilancia tecnológica. Este análisis reveló que la sostenibilidad ambiental y la eficiencia de costos constituyen los pilares fundamentales para la competitividad internacional del sector hacia 2030.

Tercera etapa - Validación mediante juicio de experto: Los pesos preliminares fueron validados mediante el método de juicio de experto, considerando la experiencia acumulada de 16 años en el sector de empaques flexibles, que incluye conocimiento directo de procesos productivos, dinámicas comerciales, requerimientos de clientes nacionales e internacionales, y evolución tecnológica del sector colombiano. Este enfoque se fundamenta en la metodología propuesta por Saaty (1980) para la asignación

de pesos en decisiones multicriterio cuando se cuenta con conocimiento especializado del dominio.

Ponderaciones asignadas: Con base en el proceso descrito anteriormente y usando descrita, se establecieron las ponderaciones para cada tecnologías encontradas.

Limitaciones metodológicas:

Es importante señalar que este sistema de ponderación refleja las prioridades del sector de empaques flexibles para alimentos en Colombia con proyección a 2030. Los pesos podrían variar en contextos geográficos diferentes o ante cambios significativos en el entorno regulatorio o de mercado. Asimismo, la validación se realizó mediante el uso de la información encontrada en las fuentes citadas con anterioridad y la ponderación propuesta en esta tesis; estudios futuros podrían enriquecer este enfoque mediante consultas con paneles de expertos del sector (método Delphi) o encuestas a empresarios y tomadores de decisiones.

Con base en lo expuesto en las líneas anteriores estas son las matrices de evaluación:

En el contexto actual, donde la sostenibilidad es esencial para la competitividad empresarial, los biopolímeros y materiales sostenibles emergen como soluciones innovadoras para la industria de empaques flexibles. Estos materiales permiten reducir la huella de carbono, mejorar la reciclabilidad y cumplir con estándares ecológicos internacionales. Su evaluación considera criterios clave como impacto ambiental, costos, adaptabilidad, calidad del producto y viabilidad en mercados globales.

Grupo Tecnologías	Tecnología	Sostenibilidad Ambiental	Eficiencia de Costos	Innovación y Adaptabilidad	Mejora de la Calidad del Producto	Acceso a Nuevos Mercados	Ponderación Total	Observación
Biopolímeros y Materiales Sostenibles	Almidón de papa	5	3	3	4	3	18	Biodegradable, buena barrera pero requiere mejoras en resistencia mecánica
	Proteína de suero	4	4	3	4	5	20	Alta reciclabilidad, buena conservación pero costos de producción altos
	Películas de quitosano	5	4	5	4	4	22	Gran capacidad antimicrobiana, biodegradable y mejora la conservación
	Celulosa	5	5	4	4	5	23	Biodegradable, sostenible y alta aceptación en mercados regulados
	Ácido poliláctico (PLA)	5	4	4	4	5	22	Buen desempeño ambiental pero limitado en reciclabilidad
	Alcohol polivinílico	4	4	3	3	4	18	Buena barrera contra humedad, pero requiere laminación para mayor protección
	Aislado de proteína de soja	4	3	3	3	4	17	Alternativa sostenible con moderada resistencia mecánica
	Gelatina de pescado	4	3	3	3	4	17	Buen desempeño en conservación de alimentos, pero susceptible a degradación
	Carragenano	5	3	3	3	4	18	Biomaterial con estabilidad térmica, pero limitado en barrera a gases
	Alginato	5	3	4	4	4	20	Propiedades antioxidantes, pero requiere estabilizadores para mayor durabilidad

Tabla 4: Evaluación multicriterio grupo tecnologías Biopolímeros y materiales sostenibles, Fuente: Elaboración propia.

NANOTECNOLOGÍA Y NANOMATERIALES

La nanotecnología y los nanomateriales han emergido como herramientas clave en la evolución de los empaques flexibles, permitiendo mejoras significativas en resistencia, conservación y funcionalidad. Mediante la incorporación de nanopartículas y estructuras avanzadas, estas tecnologías optimizan la seguridad alimentaria al proporcionar barreras antimicrobianas, protección contra la degradación y aumento de la estabilidad del producto. Además, su aplicación en la industria impulsa la reducción de desperdicios y el desarrollo de soluciones más eficientes en términos de sostenibilidad. La siguiente evaluación multicriterio clasifica cada tecnología de nanotecnología según su impacto ambiental, costos, adaptabilidad, mejora de calidad y viabilidad en mercados internacionales.

Grupo Tecnologías	Tecnología	Sostenibilidad Ambiental	Eficiencia de Costos	Innovación y Adaptabilidad	Mejora de la Calidad del Producto	Acceso a Nuevos Mercados	Ponderación Total	Observación
Nanotecnología y Nanomateriales	Nanopartículas de plata	3	2	5	5	5	20	Gran capacidad antimicrobiana, pero con preocupaciones ambientales por toxicidad
	Nanopartículas de óxido de zinc	3	3	5	5	5	21	Propiedades antimicrobianas y antioxidantes, viable para aplicaciones en empaques activos
	Nanopartículas de dióxido de titanio	3	3	5	5	4	20	Aumenta la resistencia del empaque y mejora la barrera UV, pero con costos de producción elevados
	Nanopartículas de óxido de cobre	3	3	5	5	4	20	Barreras antimicrobianas eficaces, aunque presenta desafíos en sostenibilidad
	Nanofibras	4	4	5	5	5	23	Mejoran la resistencia mecánica y la conservación del producto con alta adaptabilidad
	Nanocompuestos de polímero-arcilla	4	4	5	5	5	23	Aumentan la barrera contra oxígeno y humedad, ideales para alimentos sensibles
	Nanocompuestos de silicato estratificado	4	4	5	5	4	22	Optimiza propiedades mecánicas y de conservación, pero con costos de producción significativos
	Películas basadas en nanopartículas de plata	3	2	5	5	5	20	Mejora la seguridad alimentaria, pero enfrenta barreras regulatorias por toxicidad potencial
	Películas nanocompuestas	4	4	5	5	5	23	Tecnología avanzada con gran desempeño en barreras y resistencia mecánica

Tabla 5: Evaluación multicriterio grupo tecnologías Nanotecnologías y Nanomateriales, Fuente: Elaboración propia.

EMPAQUES FUNCIONALES Y RECICLAJE AVANZADO

En un contexto donde la sostenibilidad y la eficiencia son factores clave en la industria de empaques, las tecnologías de empaques funcionales y reciclaje avanzado han cobrado gran relevancia. Estas soluciones buscan mejorar la conservación de productos, reducir el desperdicio y optimizar la reutilización de materiales a través de estrategias de economía circular. Desde envases que prolongan la frescura de los alimentos hasta sistemas de reciclaje químico capaces de transformar residuos en nuevos materiales, estas innovaciones representan una oportunidad para redefinir la producción y distribución de empaques flexibles. La siguiente evaluación multicriterio clasifica estas tecnologías según su impacto ambiental, eficiencia de costos, innovación y adaptabilidad, mejora de calidad del producto y viabilidad en mercados globales.

Grupo Tecnologías	Tecnología	Sostenibilidad Ambiental	Eficiencia de Costos	Innovación y Adaptabilidad	Mejora de la Calidad del Producto	Acceso a Nuevos Mercados	Ponderación Total	Observación
Empaques Funcionales y Reciclaje Avanzado	Reciclaje de plástico	5	4	3	4	5	21	Permite reutilizar materiales en empaques, reduciendo la contaminación plástica
	Tecnologías de reciclaje químico	5	4	4	4	5	22	Transforma residuos plásticos en materia prima reutilizable, aunque con costos elevados de implementación
	Materiales de origen renovable	5	5	4	4	5	23	Alternativa ecológica con gran potencial de adopción en mercados regulados
	Envases absorbentes de oxígeno	4	4	5	5	5	23	Extienden la vida útil de los alimentos al reducir la oxidación, útiles para productos sensibles
	Envases biodegradables	5	3	4	5	5	22	Reducen el impacto ambiental y cumplen con regulaciones de sostenibilidad globales
	Envases que liberan agentes	5	4	5	5	5	24	Proporcionan seguridad alimentaria y extienden la vida útil de los productos perecederos
	Envases absorbentes de etileno	5	4	5	5	5	24	Eficaces para mantener la frescura de frutas y vegetales durante almacenamiento y transporte

Tabla 6: Evaluación multicriterio grupo tecnologías Empaques Funcionales y Reciclaje Avanzado, Fuente: Elaboración propia*.

TECNOLOGÍAS EMERGENTES Y EMPAQUES INTELIGENTES

En la era de la digitalización y la conectividad, las tecnologías emergentes y los empaques inteligentes están redefiniendo la industria del embalaje. Estos avances permiten integrar sensores, etiquetas digitales e interactividad a través de IoT, lo que optimiza la trazabilidad, mejora la experiencia del consumidor y facilita la gestión eficiente de la cadena de suministro. Desde envases con conectividad en tiempo real hasta soluciones basadas en blockchain para garantizar autenticidad y seguridad, estas tecnologías están impulsando una transformación radical en el sector. La siguiente evaluación multicriterio analiza el desempeño de estas innovaciones en términos de sostenibilidad, eficiencia de costos, adaptabilidad, calidad del producto y su viabilidad en mercados globales.

Grupo Tecnologías	Tecnología	Sostenibilidad Ambiental	Eficiencia de Costos	Innovación y Adaptabilidad	Mejora de la Calidad del Producto	Acceso a Nuevos Mercados	Ponderación Total	Observación
Tecnologías Emergentes y Empaques Inteligentes	Impresión digital	4	4	5	4	5	22	Optimiza la personalización de empaques sin requerir materiales adicionales, reduciendo desperdicio
	Etiquetado inteligente	4	4	5	5	5	23	Facilita el rastreo y autenticación del producto en toda la cadena de suministro
	Impresión 3D de envases	4	3	5	4	5	21	Permite producir empaques personalizados con menor desperdicio de materiales
	Impresión de códigos QR	5	5	5	5	5	25	Habilita trazabilidad y acceso a información detallada sobre los productos
	Tintas comestibles	5	3	4	5	5	22	Alternativa innovadora para etiquetas seguras en contacto directo con alimentos
	Envases inteligentes con sensores de	5	3	5	5	5	23	Pueden detectar cambios en el estado de los alimentos y alertar sobre posible deterioro
	Blockchain en trazabilidad de	4	4	5	5	5	23	Facilita el seguimiento seguro de los productos en mercados regulados y reduce fraudes
	Envases con conectividad IoT	5	3	5	5	5	23	Permite interacción digital con consumidores y datos en tiempo real sobre el producto

Tabla 7: Evaluación multicriterio grupo Tecnologías Emergentes y Empaques Inteligentes, Fuente: Elaboración propia.

La evolución de los empaques flexibles hacia soluciones más sostenibles, eficientes y tecnológicamente avanzadas no solo refleja un imperativo ambiental, sino también una transformación estratégica en la cadena de valor global. A través del análisis de biopolímeros, nanotecnología, reciclaje avanzado y empaques inteligentes, se ha evidenciado cómo la convergencia entre innovación y sostenibilidad puede redefinir los estándares de producción y consumo. La evaluación multicriterio ha permitido establecer el impacto diferencial de cada tecnología, identificando fortalezas y barreras en términos de eficiencia de costos, adaptabilidad y acceso a mercados. Sin embargo, la implementación masiva de estas soluciones exige una articulación efectiva entre la industria, la regulación y el consumidor, donde la educación y el desarrollo de normativas progresistas juegan un papel fundamental. Desde una perspectiva estratégica, es recomendable consolidar modelos de análisis predictivo que integren variables de ciclo de vida y retorno sobre inversión, optimizando la toma de decisiones en la selección de materiales. Asimismo, la exploración de sinergias entre tecnologías emergentes y métodos de reciclaje avanzados puede acelerar la transición hacia empaques circulares, mitigando impactos ambientales sin comprometer la funcionalidad. Para maximizar la competitividad de estas innovaciones en el mercado global, es crucial fomentar marcos regulatorios armonizados que faciliten la adopción de materiales sostenibles sin generar barreras comerciales. Finalmente, el desarrollo de tecnologías inteligentes, con capacidad de interacción digital, permitirá no solo mejorar la trazabilidad, sino también fortalecer la relación entre producto y consumidor, abriendo nuevas oportunidades de diferenciación dentro de un ecosistema cada vez más exigente y dinámico. A continuación, se utilizará una matriz TRL (Technology Readiness Level o Nivel de Madurez Tecnológica). Es una escala estandarizada utilizada para medir el grado de

desarrollo o preparación de una tecnología, desde su concepto inicial hasta su implementación comercial. Esta herramienta fue desarrollada originalmente por la NASA y ahora es ampliamente adoptada por agencias como la Unión Europea, la OCDE y empresas de innovación, en este caso la usaremos para evidenciar cual es el estado de adopción de estas tecnologías en Colombia.

Tabla Comparativa: Tecnologías disruptivas y aplicación en Colombia

Tecnología	Nivel de Madurez (TRL)	Aplicación Global	Oportunidad para Colombia	Requerimientos para Adopción
Impresión 3D para envases	7–8	Envases personalizados para alimentos, cosméticos y fármacos.	Fabricación local bajo demanda, reducción de inventario.	Inversión en equipos, capacitación técnica, validación de materiales.
Nanosensores integrados (IoT)	6–7	Monitoreo de frescura, temperatura y manipulación.	Exportación de flores, frutas, carne, productos farmacéuticos.	Desarrollo de sensores, conectividad, interoperabilidad de datos.
Envases auto-reparadores	4–5	Polímeros que sellan microgrietas por contacto o calor.	Logística nacional, reducción de rechazo en transporte.	I+D en materiales, escalamiento industrial, validación normativa.
Tecnologías bioinspiradas	4–6	Polímeros regenerativos, estructuras autorreparables.	Sustitución de empaques de un solo uso por soluciones circulares.	Alianzas universidad-industria, programas piloto, incentivos.
Envases inteligentes interactivos	6–8	Trazabilidad, apps móviles, QR/NFC para consumidores.	E-commerce, educación al consumidor, confianza y transparencia.	Desarrollo de software, diseño UX, conectividad móvil.

Tabla 8: Comparativa tecnologías disruptivas y aplicación en Colombia, Fuente: Elaboración propia.

EVALUACIÓN DEL IMPACTO EN LA COMPETITIVIDAD INTERNACIONAL

La evaluación del impacto en la competitividad internacional del Programa Estratégico para el Sector de Empaques Flexibles que incorpore tecnologías innovadoras es fundamental para medir el alcance y la efectividad de las acciones implementadas. Este análisis permitirá identificar cómo la adopción de nuevas tecnologías y prácticas sostenibles contribuye a fortalecer la posición del sector en mercados globales, mejorando la calidad, eficiencia y diferenciación de los productos.

Se considerarán indicadores clave como la participación en mercados internacionales, la capacidad de innovación, la reducción de costos productivos, y el cumplimiento de estándares ambientales y de calidad exigidos globalmente. Además, se evaluará el efecto en la percepción de los clientes y socios comerciales, así como la generación de alianzas estratégicas que potencien la expansión y consolidación del sector.

Este proceso de evaluación permitirá ajustar y optimizar las estrategias del programa, asegurando que las tecnologías incorporadas no solo respondan a las tendencias del mercado, sino que también impulsen una ventaja competitiva sostenible a largo plazo para el sector de empaques flexibles en el ámbito internacional.

PRODUCTIVIDAD Y REDUCCIÓN DE COSTOS

La incorporación de tecnologías innovadoras en el sector de empaques flexibles tiene un impacto directo en la productividad y la reducción de costos, elementos clave para mejorar la competitividad sostenible. La automatización de procesos, el uso de materiales

avanzados y la optimización de la cadena de producción permiten aumentar la eficiencia operativa, reducir tiempos de fabricación y minimizar desperdicios.

Estas mejoras se traducen en una disminución significativa de los costos de producción, lo que facilita ofrecer productos de alta calidad a precios más competitivos en el mercado nacional e internacional. Además, la implementación de tecnologías sostenibles contribuye a reducir el consumo energético y los costos asociados al manejo de residuos, generando beneficios económicos y ambientales.

El aumento en la productividad y la reducción de costos no solo fortalecen la rentabilidad de las empresas del sector, sino que también promueven la inversión en innovación continua, consolidando así una ventaja competitiva sostenible en el tiempo.

INNOVACIÓN DE VALOR AGREGADO

La innovación de valor agregado en el sector de empaques flexibles es un pilar esencial para diferenciar los productos y satisfacer las demandas cambiantes de los mercados globales. La incorporación de tecnologías avanzadas permite desarrollar empaques con características mejoradas, como mayor funcionalidad, sostenibilidad, diseño atractivo y adaptabilidad a diferentes necesidades del consumidor.

Estas innovaciones no solo mejoran la experiencia del usuario final, sino que también abren nuevas oportunidades comerciales, permitiendo a las empresas ofrecer soluciones personalizadas y de alto valor que se traducen en una mayor fidelización y posicionamiento de marca. Además, el valor agregado generado a través de la innovación contribuye a justificar precios premium y a acceder a nichos de mercado especializados.

Fomentar una cultura de innovación continua y la colaboración entre actores del sector es clave para mantener la competitividad y asegurar que las tecnologías incorporadas respondan a tendencias emergentes, generando un impacto positivo y sostenible en la cadena de valor del sector de empaques flexibles.

CUMPLIMIENTO DE ESTÁNDARES INTERNACIONALES

El cumplimiento de estándares internacionales es un factor determinante para que el sector de empaques flexibles pueda acceder y mantenerse en mercados globales competitivos. La adopción de normativas reconocidas a nivel mundial en materia de calidad, seguridad, sostenibilidad y responsabilidad ambiental garantiza que los productos cumplan con los requisitos exigidos por clientes y reguladores internacionales.

Incorporar tecnologías innovadoras facilita la alineación con estos estándares, permitiendo mejorar los procesos productivos, asegurar la trazabilidad y reducir el impacto ambiental. Esto no solo fortalece la confianza de los compradores internacionales, sino que también minimiza riesgos comerciales y legales, abriendo puertas a nuevas oportunidades de exportación.

El compromiso con el cumplimiento normativo contribuye a posicionar al sector como un referente confiable y responsable, impulsando una ventaja competitiva sostenible basada en la calidad y la excelencia operativa.

DIFERENCIACIÓN EN MERCADOS GLOBALES

La diferenciación en mercados globales es clave para que el sector de empaques flexibles logre una posición destacada frente a la competencia internacional. A través de la incorporación de tecnologías innovadoras y prácticas sostenibles, las empresas pueden ofrecer productos únicos que se distinguen por su calidad, funcionalidad, diseño y compromiso ambiental.

Esta diferenciación permite captar segmentos de mercado especializados y consumidores cada vez más exigentes, que valoran aspectos como la sostenibilidad, la innovación y la personalización. Además, fortalece la imagen de marca y facilita la entrada a nuevos mercados con altos estándares de calidad y responsabilidad social.

Al consolidar una propuesta de valor diferenciada, el sector no solo mejora su competitividad, sino que también asegura una ventaja sostenible que contribuye al crecimiento y la expansión internacional a largo plazo.

OBJETIVO 2: ANALIZAR LAS OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS EN LOS MERCADOS INTERNACIONALES PARA EL SECTOR DE EMPAQUES FLEXIBLES.

El presente capítulo presenta un resumen detallado de las oportunidades y desafíos que se encuentran a nivel internacional con respecto al desarrollo y las potencialidades del sector de empaques flexibles considerando variables económicas, tecnológicas, regulatorias y sociales que condicionan el acceso y sostenibilidad en dichos mercados.

La caracterización de mercados internacionales no puede limitarse a una enumeración de tendencias y/o a una revisión general de oportunidades. En un contexto global marcado por políticas ambientales estrictas, la aceleración de la digitalización y la

transformación de hábitos de consumo, el análisis debe construirse a través de un marco comparativo. Para ello, el modelo PESTEL constituye una herramienta idónea, al permitir organizar comparativamente las dimensiones políticas, económicas, socioculturales, tecnológicas, ecológicas y legales que condicionan la internacionalización del sector (Steffens, 2017; Johnson et al., 2020).

A continuación, se presenta el análisis PESTEL del sector, a fin de poder evidenciar sus principales características.

ANALISIS PESTEL

A continuación, se brinda información de los factores que condicionan el crecimiento y desarrollo de Colombia por medio de la herramienta de lectura de entornos PESTEL. Luego se utilizan instrumentos de análisis propios de la planeación estratégica como el DOFA a fin de extraer conclusiones que nos permitan entender el entorno del sector de empaques y sus principales amenazas y oportunidades. El instrumento PESTEL (factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales) busca identificar aquellos elementos que conforman el entorno en el cual se desenvuelven las organizaciones, en este caso en específico el sector de empaques flexibles, es decir, aquello que no depende directamente de la gestión interna, sino que está determinado por el contexto (Instituto Nacional de Contadores Públicos, 2015).

En 1968, tras la publicación de un ensayo sobre marketing titulado Análisis macro-ambiental en gestión estratégica, los teóricos Liam Fahey y V. K. Narayanan fueron los precursores de un nuevo método de análisis empresarial que con el paso de los años se

convertiría en uno de los más empleados: la herramienta PEST (Fahey y Narayanan, 1986).

A continuación, se revisan factores de la institucionalidad colombiana que favorecen el desarrollo empresarial del sector de empaques flexibles, centrándose en indicadores sociales, económicos y de competitividad que han aportado a su crecimiento y desarrollo.

POLÍTICO

Colombia mantiene una democracia estable, pero enfrenta desafíos como la implementación de los acuerdos de paz y la presencia de grupos armados ilegales. En 2024, el país celebró elecciones territoriales sin mayores incidentes, mostrando la fortaleza de sus instituciones. Sin embargo, la polarización política sigue siendo alta y la confianza en el gobierno es baja: solo el 27% de los colombianos confía en las instituciones gubernamentales, según el Barómetro de las Américas 2024. El Banco Mundial aprobó U\$900 millones en financiamiento para Colombia en 2025, enfocados en políticas de desarrollo equitativo y gestión del riesgo de desastres (Banco mundial, 2025)). Las relaciones internacionales son estables, especialmente con Estados Unidos y la Unión Europea, aunque hay tensiones ocasionales con países vecinos como Venezuela.

La evolución del sector de empaques flexibles está estrechamente ligada a las políticas gubernamentales que regulan la producción, comercialización y disposición de estos materiales. La Unión Europea, por ejemplo, ha establecido restricciones al uso de plásticos convencionales y ha incentivado la adopción de materiales biodegradables y reciclables (European Commission, 2023). Esta tendencia regulatoria impacta

directamente a los exportadores colombianos que buscan ingresar a mercados con exigencias ambientales rigurosas, demandando una adaptación tecnológica y certificaciones especializadas para garantizar la conformidad con normativas internacionales.

Por otro lado, los acuerdos comerciales han facilitado la expansión de productos manufacturados hacia mercados estratégicos, han permitido reducir barreras arancelarias y generar ventajas competitivas para exportadores de empaques flexibles (ProColombia, 2023). Sin embargo, la volatilidad en políticas comerciales y cambios legislativos pueden representar un desafío estructural, especialmente en regiones con dinámicas proteccionistas o fluctuaciones en regulaciones ambientales. La estabilidad en estos marcos jurídicos será determinante para definir la estrategia de expansión y minimizar los riesgos asociados a cambios abruptos en normativas internacionales.

La tabla muestra la situación del sector en Colombia entre los años 2005 a 2025.

Año	Situación del sector	Cambios legislativos clave	Impacto y tendencias
2005-2010	Crecimiento sostenido, fuerte uso de plásticos y cartón. Enfoque en eficiencia y costos.	Normas generales sobre residuos sólidos y etiquetado.	Poca presión ambiental, foco en productividad y exportación.
2012	Mayor conciencia ambiental, primeras iniciativas de reciclaje industrial.	Resolución 683 de 2012: regula la gestión de residuos peligrosos, incluyendo algunos empaques especiales.	Comienza la presión para planes de manejo ambiental en empresas grandes.
2015-2017	Auge de empaques flexibles y plásticos. Consumidores empiezan a exigir sostenibilidad.	Se discuten proyectos de ley sobre plásticos de un solo uso.	Primeras iniciativas de economía circular y reciclaje posconsumo.
2018	El sector representa el 56% de la industria plástica nacional.	Resolución 1407 de 2018: obliga a productores a formular e implementar Planes de Gestión Ambiental de Residuos de Envases y Empaques (PGA), bajo el principio de responsabilidad extendida del productor.	Se exige reincorporar mínimo 30% de residuos en nuevos empaques. Nace la obligación de reportar y cumplir metas de reciclaje.
2020	Crecen los portafolios de empaques sostenibles y reciclados.	Resolución 1342 de 2020: ajustes a la 1407, refuerza metas y seguimiento.	Más empresas se vinculan a planes posconsumo, aunque el 60% de grandes empresas aún no cumple.
2022-2023	Se acelera la innovación en materiales biodegradables y reciclados.	Ley de plásticos de un solo uso (2022): prohíbe progresivamente ciertos plásticos de un solo uso.	Fuerte impulso a la economía circular, ecodiseño y materiales alternativos.
2025	El sector se orienta a la sostenibilidad y la economía circular.	Se consolidan las metas de reciclaje y reducción de residuos.	El reciclaje y la reincorporación de materiales son obligatorios. Se promueve el ecodiseño y la trazabilidad de materiales.

Tabla 9: Evolución del sector de empaques en Colombia y principales cambios legislativos (2005-2025). Fuente: Elaboración propia con base en Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018), El Empaque (2022), y Ministerio de Salud y Protección Social (2012).

ECONÓMICO

La economía colombiana creció un 1,7% en 2024 y se proyecta un crecimiento del 2,8% para 2025, impulsado por el consumo privado y una leve recuperación de la inversión. La inflación bajó al 4,9% en julio de 2025, mejorando con relación a julio de 2024 que de 6,8% y haber superado el 13% en 2022. El desempleo urbano se sitúa en 10,8% (abril 2025), mientras que la pobreza afecta al 31,3% de la población, con fuertes disparidades regionales (Banco Mundial, 2025). La economía sigue dependiendo de las exportaciones de petróleo y carbón, que representan cerca del 50% de las exportaciones totales, aunque el gobierno busca diversificar la matriz productiva, aunque ha mostrado signos de recuperación tras la pandemia, con crecimiento en sectores como el turismo, la tecnología y la agroindustria, persisten problemas como la inflación, el desempleo juvenil y la dependencia de las exportaciones de petróleo y carbón. El país busca diversificar su economía y atraer inversión extranjera, pero la inseguridad y la informalidad laboral siguen siendo retos importantes.

La tabla muestra la evolución de la inflación y del crecimiento económico para Colombia en los últimos 15 años.

Año	Inflación (%)	Crecimiento PIB (%)
2010	3,17	4
2011	3,73	6,9
2012	2,44	4
2013	1,94	4,9
2014	3,66	4,4
2015	6,77	3,1
2016	5,75	2,1
2017	4,09	1,4
2018	3,18	2,6
2019	3,8	3,3
2020	1,61	-7,2
2021	5,62	10,7
2022	13,12	7,3
2023	9,28	0,7
2024	5,2	1,7
2025	4,8	2,7

Tabla 10: Evolución de la inflación y el crecimiento económico en Colombia (2010-2025), Fuente: Elaboración propia con base en DANE (2025), Datosmacro (2025), y Banco Mundial (2025).

Se observa la estabilidad del crecimiento del PIB a través de los años salvo en los momentos donde el mundo pasó por la pandemia COVID 19 entre los años 2019 y 2023. El crecimiento del mercado de empaques flexibles sigue una tendencia sostenida con una tasa compuesta anual del 5.2 % hasta 2030, impulsado por la demanda de materiales sostenibles y eficientes en costos (Data Bridge Market Research, 2022). Esto representa una oportunidad clave para empresas de empaques flexibles que logren incorporar e integrar innovación en su cadena operativa y logren la diferenciación en su oferta.

En mercados como Norteamérica y Europa, la sofisticación de los consumidores ha generado una preferencia por empaques con valor agregado. Esto obliga a las empresas latinoamericanas a competir no solo en precio, sino en la propuesta de innovación y sostenibilidad. Sin embargo, la fluctuación en el precio del petróleo, materia prima central en la producción de polímeros, impone un reto adicional, afectando la rentabilidad de los empaques convencionales y acelerando la transición hacia alternativas biodegradables (Mordor Intelligence, 2024).

A nivel regional, el contexto económico de Colombia también impacta la viabilidad de internacionalización. La tasa de cambio y la competitividad en costos de producción frente a mercados como los asiáticos determinarán las condiciones de acceso y permanencia en mercados altamente regulados. Esto obliga a la industria a optimizar su estructura de costos sin comprometer calidad y cumplimiento normativo, consolidando estrategias que favorezcan la integración de cadenas de valor globales. La tabla muestra la evolución de la tasa de ocupación a nivel nacional y la participación del sector de empaques en el empleo.

Tasa de ocupación Colombia 2020 – 2025

Año	Tasa de Ocupación (%)	Empleos Totales	Variación Anual (%)	Empleos en Plásticos (envases y empaques)	Porcentaje del empleo total
2020	49.8	19840000		90000,00	0,45%
2021	53.2	21590000	8.80%	95000,00	0,44%
2022	57.3	22500000	4.20%	100000,00	0,44%
2023	57.6	22800000	1.30%	105000,00	0,46%
2024	58.5	23600000	3.50%	110000,00	0,47%
2025	58.2 (mayo)	23500000 (abril)	-0.4% (p)	115000 (p)	0,49%

Tabla 11: Tasa de ocupación Colombia 2020 – 2025, Elaboración propia en base a DANE 2020 – 2025

SOCIAL

Colombia tiene una población de 52,2 millones de habitantes (DANE, 2025), con un 81% viviendo en zonas urbanas. La migración venezolana sigue impactando: más de 2,8 millones de migrantes venezolanos residen en el país (Migración Colombia, 2025). La desigualdad es alta, con un coeficiente de Gini de 0,52 (2024). El acceso a la educación y la salud ha mejorado, pero persisten brechas: la tasa de cobertura en educación superior es del 53%, y el 12% de la población carece de acceso a servicios de salud adecuados (Banco Mundial, 2025).

La tabla muestra la evolución de los principales indicadores sociales en Colombia desde el año 2010 a 2025.

Evolución de indicadores sociales en Colombia (2010-2025)

Año	Pobreza monetaria (%)	Pobreza multidimensional (%)	Desempleo (%)	Gini	Esperanza de vida (años)	Acceso a educación básica (%)
2010	37,2	30,4	11,8	0,548	74,5	95
2015	27,8	20,2	8,9	0,522	75,5	96
2019	29,4	17,5	10,5	0,526	76,2	97
2020	42,5	18,1	15,9	0,544	76,5	97,5
2021	39,3	16	13,7	0,539	76,8	97,8
2022	36,6	12,9	11,2	0,523	77,1	98
2023	33	12,1	10,2	0,517	77,3	98,2
2024	32	11,5	9,5	0,515	77,4	98,3
2025	31,0*	11,0*	8,6	0,513	77,5	98,5

Tabla 12: Evolución de indicadores sociales en Colombia (2010-2025) *Estimaciones preliminares para 2025. Fuente: Elaboración propia con base en DANE (2025), Banco Mundial (2025), y proyecciones oficiales.

Se observa el descenso de la pobreza monetaria y de la pobreza multidimensional, así como también se observa el aumento de la esperanza de vida pasando de 74 años en 2010 a 77,5 en el 2025.

Como se mencionó existen brechas significativas en educación, salud y acceso a servicios básicos, especialmente en zonas rurales y entre comunidades indígenas y afrodescendientes. El país enfrenta desafíos en materia de equidad de género y derechos humanos, aunque hay avances en inclusión y participación ciudadana.

Las preferencias de los consumidores han evolucionado significativamente en los últimos años, mostrando una mayor inclinación hacia productos funcionales en porciones personales, transportables y con empaques sostenibles y atractivos. En mercados europeos y norteamericanos, más del 70 % de los consumidores manifiestan preferencia por empaques ecológicos, lo que ha impulsado el desarrollo de materiales con menor impacto ambiental (Euromonitor, 2023).

Este cambio cultural ha generado una demanda creciente por soluciones de empaques biodegradables, reciclables y/o compostables, lo que presenta una oportunidad clara para empresas que inviertan en innovación tanto en sus procesos productivos, maquinaria y materiales. Paralelamente, el auge del comercio electrónico ha redefinido los requerimientos de empaques, orientándose hacia soluciones más resistentes, ligeras y eficientes en logística. Empresas globales como Amazon y Walmart han establecido parámetros específicos para empaques utilizados en e-commerce, exigiendo mayor durabilidad y adaptabilidad a cadenas de suministro automatizadas (McKinsey & Company, 2023).

Para las empresas colombianas, la clave será alinear sus productos con las expectativas del consumidor internacional, integrando materiales con propiedades avanzadas, certificaciones ecológicas y estrategias de diferenciación funcional que refuercen su posicionamiento en segmentos clave.

TECNOLÓGICO

Colombia avanza en digitalización: el 73% de los hogares tiene acceso a internet (MinTIC, 2025), aunque en zonas rurales la cifra baja al 38%. El país es líder en innovación en la región andina, con más de 1.200 startups activas, principalmente en fintech y agrotech (StartupBlink, 2025). El gasto en I+D es del 0,3% del PIB, por debajo del promedio regional. El gobierno impulsa la transformación digital y la adopción de inteligencia artificial, pero la brecha digital sigue siendo un reto.

El sector tecnológico está en crecimiento, con un ecosistema de startups dinámico, especialmente en ciudades como Bogotá y Medellín.

La transformación del sector de empaques flexibles se fundamenta en avances tecnológicos que han optimizado la eficiencia operativa y la sostenibilidad. La implementación de biopolímeros, nanotecnología y empaques inteligentes ha redefinido la dinámica de competencia en mercados globales, permitiendo mejoras en conservación, reducción de impacto ambiental y optimización de costos (FAO, 2023).

Las películas antimicrobianas con nanopartículas, por ejemplo, han cobrado relevancia en el empaquetado de alimentos frescos, mejorando la seguridad alimentaria y reduciendo la contaminación microbiana (Miao et al., 2021). Asimismo, la trazabilidad mediante blockchain ha consolidado modelos de control de calidad y seguridad,

facilitando la validación de origen y composición de los empaques utilizados en mercados regulados (World Trade Organization, 2024).

A pesar de los beneficios, la adopción de tecnología avanzada demanda inversiones significativas y una capacidad de escalabilidad que no siempre está disponible para todas las empresas, en especial para las Pymes o las de los países en vía de desarrollo. Para mitigar esta barrera, la colaboración con centros de investigación y alianzas estratégicas entre empresas clientes y proveedores permitirá una integración progresiva de innovación sin comprometer la viabilidad financiera del sector y la afectación al consumidor final.

ECOLÓGICO

Colombia es el segundo país más biodiverso del mundo, pero enfrenta graves problemas ambientales. En 2024, la deforestación alcanzó 123.517 hectáreas, principalmente en la Amazonía (IDEAM, 2025). El país se comprometió a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 51% para 2030, pero la minería ilegal y la expansión agrícola amenazan estos objetivos. El 70% de la energía eléctrica proviene de fuentes renovables, principalmente hidroeléctricas (Banco Mundial, 2025). El cambio climático afecta a sectores como la agricultura y la infraestructura. El país ha firmado acuerdos internacionales para la protección ambiental y está promoviendo energías limpias, pero la implementación es desigual.

El impacto ambiental de los empaques flexibles ha sido un tema central en regulaciones internacionales y preferencias de consumo. Países como Canadá, Alemania y Francia han prohibido el uso de plásticos de un solo uso, acelerando la transición hacia modelos

de economía circular y empaques biodegradables (European Commission, 2023). Por otro lado, la evaluación de los modelos de producción y abastecimiento de materias primas base para empaques biodegradables plantea un reto de lograrlo sin que este proceso afecte el medio ambiente local y mundial.

Esta tendencia representa un cambio estructural en el modelo de producción, exigiendo ajustes en procesos industriales, certificaciones ambientales y criterios de diseño. Empresas líderes han comenzado a desarrollar empaques con cero emisiones de carbono, lo que se ha convertido en un factor diferenciador en mercados globales (UNEP, 2024).

Para la industria colombiana, estos cambios abren una oportunidad estratégica si logran incorporar procesos de producción adaptados a estándares de sostenibilidad, permitiendo no solo acceder a mercados internacionales, sino también consolidar ventajas competitivas en eficiencia y costos operativos.

Con el propósito de ampliar la información sobre el aspecto ecológico, se aborda un análisis de la evolución de la industria del reciclaje en Colombia (2020–2025)

La industria del reciclaje en Colombia ha experimentado una transformación significativa en los últimos cinco años, impulsada por un marco normativo más exigente, inversiones del sector privado, presión internacional frente a la sostenibilidad y una creciente conciencia ciudadana. Se hace un apartado especial en esta parte para observar la evolución de esta industria desde 2020 hasta 2025, analizando indicadores clave como tasas de aprovechamiento, capacidades instaladas, crecimiento empresarial,

normatividad vigente y apoyos gubernamentales. El objetivo es evaluar su madurez frente a los compromisos ambientales del país y su inserción en la economía circular.

Comportamiento de las tasas de aprovechamiento (2020–2025)

En el año 2020, Colombia aprovechaba aproximadamente 1,9 millones de toneladas de residuos sólidos, lo que representaba un 11,8 % de la generación total, estimada en más de 12 millones de toneladas por año (Portafolio, 2020). Para el año 2023, el volumen de residuos reciclados se incrementó sustancialmente, alcanzando los 3,9 millones de toneladas, con una tasa nacional de reciclaje cercana al 16 % (La República, 2024).

El material plástico ha tenido un comportamiento destacado: según Acoplásticos y la ANDI, en 2023 se reciclaron 935.106 toneladas de plásticos posconsumo, lo que representa un 38,9 % del total aprovechado. Este incremento responde a las exigencias normativas y a la inversión acumulada de más de US 150 millones por parte del sector privado entre 2021 y 2025 (Plástico.com, 2024).

Evolución de la capacidad instalada

La capacidad industrial instalada para el reciclaje de plásticos creció de forma sostenida durante el periodo de análisis. En 2021, el país contaba con una capacidad estimada en 310.000 toneladas anuales, la cual se amplió hasta 400.000 toneladas anuales en 2025, lo que representa un aumento del 29 % en apenas cuatro años (Gestión Solidaria, 2024).

La gráfica siguiente representa la evolución paralela entre la cantidad total de residuos reciclados y la capacidad instalada específicamente para el reciclaje de plásticos:

Evolución paralela en Colombia: Residuos plásticos reciclados vs Capacidad			
Año	Residuos plásticos reciclados (M ton/ año)	Capacidad instalada de reciclaje de plásticos (M ton/ año)	Fuente
2018	390	500	Acoplásticos (2019)
2019	450	550	Acoplásticos (2020)
2020	520	600	Acoplásticos (2021)
2021	610	670	Acoplásticos (2022)
2022	690	720	Acoplásticos (2023)
2023	740	780	Acoplásticos (2024)*
2024	800	830	Acoplásticos (2024, proyección) / MinAmbiente (2024)

Tabla 13: Evolución del reciclaje total y capacidad instalada en Colombia (2020–2025). Fuente: elaboración propia con base en DANE (2020), ANDI (2023), Acoplásticos (2024).

La información permite evidenciar que:

- 2018 → 2024: Se pasó de 390 mil toneladas a 800 mil toneladas de plásticos reciclados, duplicando prácticamente el volumen en seis años +105 %.
- La capacidad instalada creció de 500 mil toneladas a 830 mil toneladas en el mismo período +66%, mostrando inversión sostenida en maquinaria e infraestructura.
- El diferencial entre capacidad y uso efectivo se redujo de 110 mil toneladas en 2018 a apenas 30 mil toneladas en 2024 , señal de mayor eficiencia en el ecosistema del reciclaje.

Normatividad vigente y políticas públicas

Desde 2020, Colombia ha promulgado varias leyes y decretos clave para el fortalecimiento del reciclaje como herramienta de política ambiental. Entre las más relevantes se destacan:

Ley 2232 de 2022: establece la prohibición progresiva de los plásticos de un solo uso. La primera fase entró en vigor en julio de 2024 con la restricción de ocho productos como pitillos, bolsas no biodegradables y envases tipo poliestireno expandido.

Resolución 0803 de 2024 (MinAmbiente): reglamenta el artículo 5 de la Ley 2232, introduciendo criterios de reciclabilidad y responsabilidad extendida del productor (REP).

Decreto 1381 de 2024: parte del Plan Nacional de Desarrollo, institucionaliza el programa “Basura Cero”, promoviendo incentivos tributarios, créditos verdes y líneas de apoyo directo a recicladores de oficio.

Resoluciones 1407 de 2018 y 1342 de 2020: obligan a las empresas a establecer planes de manejo posconsumo, fijando metas escalonadas hasta 2030 para materiales como PET, HDPE, cartón y vidrio.

Estas disposiciones legales han contribuido a fortalecer la trazabilidad de materiales, estimular la inversión empresarial y profesionalizar el trabajo de los recicladores en el país.

Composición del reciclaje por tipo de material: A nivel de materiales específicos, la composición del reciclaje ha variado conforme a las inversiones en tecnologías y los avances en logística inversa:

Material	Toneladas recicladas (2023)	Tasa estimada de recuperación
Plástico	935.106 t	38,9 %
Papel/cartón	1.200.000 t (estimado)	45–50 %
Vidrio	300.000 t (estimado)	25–30 %
Metales	280.000 t (estimado)	60 %
Orgánicos	<500.000 t	<10 %

Tabla 14: Toneladas de reciclaje por tipo de material, **Fuente:** Elaboración propia con base en ANDI, Superservicios y Acoplásticos (2024).

Crecimiento empresarial y generación de empleo

La industria del reciclaje ha mostrado un crecimiento económico sostenido. En 2024, el sector de plásticos reciclables generó ingresos por más de COP 35 billones, con una participación significativa en el PIB industrial colombiano (Gestión Solidaria, 2024). En términos de empleo, el país alcanzó cerca de 250.000 empleos directos, lo que representa un aumento del 3,9 % respecto al año anterior.

En particular, Colombia fue clasificado en 2023 como el séptimo país con mayor tasa de ocupación en el sector de residuos y reciclaje, pasando de 102.100 personas empleadas en 2021 a 150.100 en 2023. No obstante, persiste un alto grado de informalidad, con el 71,8 % de recicladores trabajando sin prestaciones legales (Sectorial.co, 2024).

Alianzas y apoyo gubernamental

Uno de los pilares del crecimiento del sector ha sido la articulación público-privada. El programa Visión Circular, liderado por la ANDI, ha vinculado a más de 376 empresas, 126 gestores y 60 organizaciones de recicladores, consolidando un ecosistema nacional con cobertura en 245 municipios.

Además, se han invertido más de \$2.000 millones COP en proyectos de innovación con cofinanciación de organismos como la GIZ y el Banco de Bogotá, orientados a nuevas tecnologías como reciclaje químico, compostaje de alta eficiencia y separación robotizada de residuos.

LEGAL

El marco legal es robusto, pero la corrupción y la lentitud judicial afectan la seguridad jurídica. Colombia ocupa el puesto 87 de 180 en el Índice de Percepción de la Corrupción 2024 (Transparencia Internacional, 2024). El país ha avanzado en la protección de la propiedad intelectual y la regulación de nuevas tecnologías, pero la informalidad laboral sigue siendo alta 56% en 2024 (DANE, 2025). Las reformas tributaria y laboral están en discusión en el Congreso, generando debate social y empresarial.

Hay avances en la protección de la propiedad intelectual y la regulación de nuevas tecnologías, pero persisten desafíos en la seguridad jurídica para inversionistas y en la protección de los derechos humanos. Las reformas laborales y tributarias están en discusión y generan debate social.

Las normativas en seguridad alimentaria y control de empaques representan un factor crítico en la expansión internacional. Regulaciones de la FDA en EE.UU. y la EFSA en Europa exigen pruebas de migración química en empaques destinados a productos alimenticios, lo que impone altos costos de certificación y cumplimiento normativo (European Food Safety Authority, 2023).

Además, el etiquetado y trazabilidad han cobrado relevancia, demandando transparencia en la información de origen y composición de los materiales utilizados, esto en la llamada responsabilidad extendida del empaque. Para facilitar el acceso a mercados regulados, la adopción de certificaciones como ISO 9001 y HACCP será esencial, garantizando estándares de calidad alineados con exigencias internacionales (ISO, 2015).

En Colombia, la regulación sobre plásticos de un solo uso ha avanzado significativamente en los últimos años con el objetivo de reducir su impacto ambiental y

promover la economía circular. A continuación, se presentan las principales normativas vigentes:

Ley 2232 de 2022.

La Ley 2232 de 2022 establece medidas para la reducción gradual de la producción y consumo de plásticos de un solo uso en el país. Su objetivo es prohibir progresivamente ciertos productos plásticos y fomentar su sustitución por alternativas sostenibles. La ley contempla la eliminación de 21 tipos de plásticos de un solo uso para el año 2030, comenzando con la prohibición de ocho productos desde julio de 2024, entre ellos bolsas plásticas en puntos de pago, pitillos y mezcladores (ANLA, 2022).

Resolución 0803 de 2024

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible emitió la Resolución 0803 de 2024, que establece medidas clave para la transición hacia la eliminación de plásticos de un solo uso. Esta resolución fija alternativas sostenibles para su reemplazo, la responsabilidad extendida del consumidor y directrices administrativas para entidades públicas. Además, establece que los productos prohibidos deben cumplir con criterios de biodegradabilidad y compostabilidad en condiciones ambientales naturales o estar fabricados con 100 % de materia prima reciclada de fuente nacional (Minambiente, 2024).

Decreto 2192 de 2023

El Decreto 2192 de 2023 complementa la Ley 2232 de 2022 y reglamenta las medidas orientadas a la reducción de plásticos de un solo uso en el país. Este decreto refuerza la responsabilidad extendida del productor, promoviendo la gestión integral de residuos y la adopción de esquemas de reciclaje y reutilización. También establece sanciones para el incumplimiento de las disposiciones ambientales y fomenta la transición hacia una economía circular (Función Pública, 2023).

A continuación, se presenta los principales datos del sector de empaques y sus proyecciones hacia el futuro.

CARACTERIZACIÓN DE LOS MERCADOS INTERNACIONALES POTENCIALES A 2030

El mercado global de empaques flexibles se encuentra en la actualidad en una fase de transformación impulsada por la sostenibilidad, la digitalización, la evolución en hábitos de consumo, la eficiencia operativa y la adaptación a nuevas tecnologías los cuales determinan el acceso y permanencia en los mercados nacionales e internacionales.

La industria enfrenta una creciente presión por regulaciones más estrictas y la necesidad de innovar en materiales y procesos para mantener la competitividad. Paralelamente, el comercio digital, la optimización de cadenas de suministro y la convergencia con la nanotecnología y los empaques inteligentes abren nuevas oportunidades para la expansión de estos materiales en mercados emergentes y maduros.

Para las empresas colombianas, la expansión internacional representa tanto una oportunidad estratégica como un desafío estructural.

Según ProColombia (2023), el país alcanzó exportaciones por USD 377,7 millones en empaques flexibles, lo que representa una participación mínima del 0,133 % en el mercado global de USD 283,44 mil millones (Data Bridge Market Research, 2022). Esto evidencia un potencial de crecimiento significativo, siempre que se adopten estrategias y programas adecuadas para fortalecer la competitividad internacional.

Definición de embalaje flexible

El embalaje flexible es una estructura no rígida que empaqueta y protege muchos productos en diversas industrias de usuarios finales. Los envases flexibles cubren aquellos productos que han pasado por un proceso de conversión como impresión, recubrimiento, laminación y extrusión, y pueden involucrar diferentes sustratos como películas plásticas, papel y láminas. Los tipos de envases flexibles incluyen laminados de papel de aluminio, tapas de aluminio, envases tipo blíster, bolsas de aluminio, bolsas de plástico, películas para envolver, películas para tapas y bolsitas. (Research, 2022).

Estos productos cumplen adicional a lo expuesto anteriormente una función de ayudar en el impulso a las ventas de las empresas que los consumen, gracias a los diseños, las formas, los colores y demás atributos los empaques buscan captar la atención del público desde el primer momento del contacto visual.

Así pues, las oportunidades y los desafíos del mercado de empaque flexibles continuaran presentándose, según el informe de Data Bridge Market Research se espera que el mercado de envases flexibles alcance los 425,19 millones de dólares en 2030, que fue de 283,44 millones de dólares en 2022, registrando una tasa compuesta anual del 5,20% durante el período previsto de 2023 a 2030. (Research, 2022).

Variables que enmarcan el crecimiento del mercado de empaques flexibles:



Imagen 1: Mercado mundial de envases flexibles: tendencias de la industria y pronóstico hasta 2030. Fuente: <https://www.databridgemarketresearch.com/es/reports/global-flexible-packaging-market>

TENDENCIAS EN AMÉRICA DEL NORTE, EUROPA, ASIA Y AMÉRICA LATINA

Teniendo en cuenta la revisión de la literatura y los insumos de la vigilancia tecnológica, se han definido tres mercados estratégicos al horizonte 2030: Europa, Norteamérica (EE. UU. y Canadá) y Asia-Pacífico. Estos fueron seleccionados con base en su peso regulatorio y de consumo, su tamaño de mercado y la proyección de crecimiento hacia la próxima década (Data Bridge Market Research, 2022; Flexible Packaging Europe, 2023; ProColombia, 2023).

La siguiente tabla muestra en una comparación de los mercados objetivos con cuatro dimensiones que pretenden abarcar los aspectos más importantes para lograr la internacionalización.

Dimensión	Europa	Norteamérica	Asia-Pacífico
Regulaciones ambientales	Directiva sobre plásticos de un solo uso; exigencia de compostabilidad 2030.	Regulaciones FDA y EPA; Presión creciente hacia reciclabilidad, menos estricta que la UE.	Regulaciones desiguales; Algunos países promueven los biodegradables, otros priorizan el costo sobre la sostenibilidad.
Tendencias de consumo	Alta preferencia por empaques sostenibles y trazables; consumidores dispuestos a pagar más.	Gran interés en empaques inteligentes y de conveniencia; Foco en seguridad alimentaria e IoT.	Alto volumen de consumo masivo; preferencia por empaques económicos, aunque surjan nichos sostenibles.
Barreras arancelarias/comerciales	Estrictas normativas técnicas y fitosanitarias; TLC UE-Colombia con acceso preferencial si se cumplen requisitos.	TLC Colombia-EEUU; costos logísticos competitivos; exigencias estrictas en certificaciones.	Enormes barreras culturales y de escalada; tratados bilaterales con países concretos.
Exigencias tecnológicas	Compostables certificados, biopolímeros, envases reciclables monomateriales.	Trazabilidad digital, sensores inteligentes, QR, conectividad IoT.	Tecnología adaptable a gran escala, reducción de costos, automatización en logística.

Tabla 15: Análisis de dimensiones claves en la internacionalización. Fuente: Elaboración propia con datos de comisión europea 2022, EPA 2023.

Los datos permiten observar que Europa seguirá siendo el referente regulatorio mundial en empaques sostenibles, con exigencias de compostabilidad y reciclabilidad certificada hacia 2030 (Comisión Europea, 2023). En cambio, EE. UU. y Canadá visibilizan

oportunidades asociadas a la adopción de empaques inteligentes, controladas por agencias como la Food and Drug Administration (FDA) y la Environmental Protection Agency (EPA), lo que exige certificaciones de inocuidad, pero otorga flexibilidad en lo ambiental (EPA, 2022). Finalmente, Asia-Pacífico se consolida como región de gran escala productiva, capaz de absorber volúmenes masivos, aunque sujeta a una fuerte sensibilidad por costos y con presiones regulatorias más heterogéneas (Organización Mundial del Comercio, 2023).

En conclusión, desde el enfoque estratégico, el sector colombiano debe priorizar la entrada comercial regulada a Europa para agregar valor, la innovación digital para Norteamérica y la eficiencia de costos para Asia-Pacífico.

- Para realizar operacionalizar las oportunidades identificadas en el mercado europeo, se presenta una matriz que cruza las tecnologías priorizadas en el Objetivo 1 con las condiciones específicas de entrada los mercados potenciales identificados en la matriz anterior, se usan tres inductores para mapear las oportunidades:
- Oportunidades de mercado: Evalúa el tamaño del mercado, crecimiento esperado, tendencias de consumo, cambios regulatorios o tecnológicos que abren espacio para nuevos jugadores.
- Barreras de entrada: Se utilizan para determinar qué tan protegido está un sector frente a nuevos participantes y para diseñar estrategias de defensa si ya se opera dentro del mercado.

- Complejidad para el ingreso: Baja (1), Media (2), Alta (3) Ayuda a identificar los recursos, capacidades y know-how necesarios para establecerse en un sector

MERCADO UNION EUROPEA

La primera matriz que se cruzara en el ejercicio es de la Unión Europea, destino que se muestra como una oportunidad importante para los empaques flexibles Biomateriales y empaques compostables, la matriz nos muestra las oportunidades, las barreras y la complejidad del ingreso así:

Grupo Tecnologías	Tecnología	Oportunidades en la UE	Posibles barreras de entrada	Complejidad de ingreso
Biopolímeros y Materiales Sostenibles	Almidón de papa	Demanda de compostables en empaques de uso único; buena percepción ambiental en supermercados (PlasticEurope, 2023).	Baja resistencia mecánica; requiere mezclas para cumplir con la normativa EN 13432; costos aún elevados frente a PE convencional.	2 Medio
	Proteína de suero	Potencial en envases para lácteos y alta aceptación por reciclabilidad; alineación con economía circular (Comisión Europea, 2023).	Costos de producción altos; dependencia del abastecimiento agroindustrial; necesidad de contratos estables.	2 Medio
	Películas de quitosano	Valor agregado antimicrobiano ideal para empaques de carnes y frescos premium; encaja en la tendencia "extensión de la vida útil" (Franz & Welle, 2022).	Limitaciones regulatorias en contacto directo con alimentos; costos de escalada industrial.	3 Alta
	Celulosa	Amplia aceptación en UE, biodegradable y reciclable; incentivos normativos para packaging basados en papel/celulosa (Parlamento Europeo, 2023).	Competencia tecnológica; necesidad de certificación estricta de sostenibilidad forestal (FSC, PEFC).	1 Baja
	Ácido poliláctico (PLA)	Ampliamente reconocido y aceptado como compostable; usado ya en botellas, films y empaques de alimentos (European Bioplastics, 2022).	Limitada reciclabilidad química; ciclos de compostaje industrial aún en expansión; costos frente a PET.	2 Medio
	Alcohol polivinílico	Aplicaciones en monodosis solubles y embalajes específicos (ej: detergentes, pharma).	Requiere laminaciones; duda sobre sostenibilidad "fin de vida"; La aceptación regulatoria depende de las mezclas.	2 Medio
	Aislado de proteína de soja	Alternativa sostenible, potencial en películas biodegradables; puede aportar una reducción de envases sintéticos (OCDE, 2022).	Baja resistencia mecánica y estabilidad ambiental; barreras sensoriales (olor/sabor).	3 Alta
	Gelatina de pescado	Buena conservación de alimentos frescos, biodegradables y de origen renovable.	Susceptibilidad a degradación con humedad; resistencia térmica baja; dependencia de cadenas de frío.	3 Alta
	Carrageano	Biomaterial con estabilidad térmica; posibilidad de sustitución en envases comestibles y solubles.	Limitada barrera a gases; aplicaciones aún muy nicho; certificaciones costosas.	2 Medio
	Alginate	Propiedades antioxidantes valiosas en alimentos listos-para-consumo, sin toxicidad reportada.	Requiere estabilizadores; pendiente de aceptación masiva en normativas de envases alimentarios UE.	2 Medio

Tabla 16: Mercado Unión Europea matriz de oportunidades, barreras y complejidad de ingreso, Fuente: Elaboración propia, datos de vigilancia tecnológica.

El contexto global muestra una creciente demanda de la Unión Europea por empaques sostenibles, funcionales y tecnológicamente avanzados, lo cual representa una oportunidad significativa para empresas latinoamericanas, especialmente aquellas ubicadas en Colombia, que han venido innovando en materiales, procesos y estrategias

de circularidad. Según datos de la Asociación Europea de Fabricantes de Empaque Flexible (Flexible Packaging Europe, 2023), el mercado europeo alcanzó una facturación superior a los €17.000 millones en 2022, con un crecimiento sostenido del 4,2% anual. Este mercado valora la trazabilidad, la reciclabilidad y la innovación en materiales biodegradables.

Sumado a lo anterior regulaciones como el el Reglamento de Envases y Residuos de Envases (PPWR) de la Unión Europea, publicado el 22 de enero de 2025, que introduce un marco para la economía circular que exige la reducción, reutilización y reciclaje de envases, con metas como que todos sean reciclables en 2030 y la prohibición de ciertos plásticos de un solo uso a partir de 2030. También prohíbe las sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas (PFAS) en envases de alimentos a partir de agosto de 2026, fomenta un etiquetado claro y digital, y establece responsabilidades económicas para los productores.

Así pues, cada una de las tecnologías descritas a continuación son las que mayor oportunidad representa en el mercado europeo:

Almidón de papa

El almidón de papa es uno de los biopolímeros más relevantes debido a su biodegradabilidad, amplia disponibilidad agrícola y costos relativamente competitivos en comparación con otros biomateriales. Su oportunidad de mercado en la Unión Europea está respaldada por la alta demanda de empaques compostables para productos de consumo masivo, especialmente en supermercados y cadenas de distribución que buscan alternativas a los plásticos convencionales (PlasticsEurope, 2023).

No obstante, enfrenta barreras técnicas asociadas a su baja resistencia mecánica y alta sensibilidad a la humedad, lo que obliga a su uso en mezclas (blends) o laminaciones con otros biopolímeros para cumplir con la norma EN 13432 de compostabilidad industrial (European Bioplastics, 2022). La complejidad de ingreso se clasifica como media (2), dado que posee aceptación ambiental, pero requiere inversión en innovación para superar debilidades funcionales.

Proteína de suero

La proteína de suero constituye una solución innovadora para la industria láctea y de alimentos frescos, al ofrecer elevada reciclabilidad y buenas propiedades de conservación. La oportunidad en la UE se relaciona con la tendencia a empaques que alarguen la vida útil (shelf-life) de alimentos perecederos y reduzcan el desperdicio (European Commission, 2023).

Sin embargo, enfrenta barreras de costos altos de procesamiento y dependencia del suministro de la industria láctea, lo que subordina su competitividad frente a polímeros sintéticos más baratos (OCDE, 2022). La complejidad de ingreso es media (2), ya que, aunque ofrece un nicho específico con alto valor agregado, carece aún de gran escalabilidad industrial.

Películas de quitosano

El quitosano se destaca por su potencial antimicrobiano y antioxidante, altamente valorado en la conservación de carnes y productos frescos de alto costo. En la Unión Europea, la oportunidad radica en la creciente demanda de envases que extiendan la

vida útil de alimentos delicados, además de alinearse con políticas de reducción de desperdicio (Franz & Welle, 2022).

Sus barreras son significativas: regulaciones estrictas sobre contacto directo con alimentos, costos de obtención y escalabilidad limitada. Por ello, la complejidad de ingreso es alta (3), recomendándose su priorización en proyectos de I+D+i colaborativos entre universidades y empresas europeas, más que en un despliegue comercial inmediato.

Celulosa

La celulosa representa la tecnología más consolidada para empaques sostenibles, con alta biodegradabilidad, reciclabilidad e integración en la cadena de papel y cartón. En la UE, su oportunidad es amplia, ya que encaja en la estrategia de sustitución de plásticos de un solo uso y se encuentra favorecida por aranceles reducidos y certificaciones ya aceptadas (Parlamento Europeo, 2023).

Las barreras son mínimas, consistentes principalmente en la necesidad de certificaciones forestales (FSC, PEFC) y competencia con empresas europeas establecidas. Por estas razones, su complejidad de ingreso se califica como baja (1), lo cual la convierte en una tecnología prioritaria para exportación inmediata.

Ácido poliláctico (PLA)

El PLA se encuentra entre las alternativas más reconocidas a escala global, ampliamente usado en botellas, películas y empaques. Su aceptación normativa en Europa representa una gran oportunidad, pues ya existe infraestructura de compostaje para este tipo de

polímeros. Además, el PLA encaja en el marco regulatorio del Green Deal y la Directiva de envases (European Bioplastics, 2022).

Las barreras principales son su limitada reciclabilidad y la dependencia de compostaje industrial, que aún no está plenamente extendida en todos los Estados miembros de la UE, además de costos superiores al PET en algunos segmentos (OCDE, 2022). Por tanto, la complejidad de ingreso es media (2), recomendándose su adopción en mercados regulados con infraestructura de compostaje consolidado (Alemania, Francia, los Países Bajos).

Alcohol polivinílico (PVA)

El PVA es especialmente atractivo en aplicaciones solubles, monodosis y farmacéuticas, siendo reconocido como un material de alto valor técnico. En Europa, su oportunidad está ligada a nichos innovadores más que a consumo masivo.

Las barreras incluyen la necesidad de laminación para propiedades barrera, dudas regulatorias sobre su comportamiento post-consumo y altos requisitos de certificación, lo cual obstaculiza su adopción masiva. Se le otorga una complejidad media (2), dado su potencial selectivo en mercados de especialidad, aunque con limitaciones en escalabilidad global.

Aislado de proteína de soja

La proteína de soja se presenta como material compostable y con buenas propiedades de barrera, ofreciendo oportunidad en películas biodegradables orientadas a alimentos secos y de bajo riesgo. Su atractivo en la UE deriva de la valoración de materiales basados en proteínas vegetales (OCDE, 2022).

Las barreras son críticas: baja estabilidad mecánica y sensorial (olor/sabor), limitada aceptación regulatoria y resistencia a humedades altas. La complejidad de ingreso es alta (3), recomendándose su consideración solo en proyectos experimentales.

Gelatina de pescado

La gelatina es un material interesante por sus propiedades biodegradables y buena conservación, lo que le otorga oportunidad en empaques para la industria pesquera y derivados alimenticios.

Sin embargo, su susceptibilidad a humedad, baja resistencia y dependencia de cadenas de frío limitan su escalabilidad, convirtiéndolo en un nicho muy específico. La complejidad es alta (3), siendo más viable para investigación y desarrollo que para una entrada masiva a mercados.

Carrageano

El carragenano ofrece estabilidad térmica y posibilidades en envases comestibles o solubles, alineándose con tendencias de sostenibilidad extrema.

Las barreras principales son su débil capacidad barrera frente a gases y costos de certificación en la UE, que lo restringen a un nicho pequeño. Por tanto, su complejidad de ingreso es media (2), con potencial en mercados gourmet y de pequeña escala.

Alginato

El alginato posee propiedades antioxidantes y buena aceptabilidad toxicológica, lo que abre oportunidades en envases para alimentos listos para consumo.

Las barreras se relacionan con la necesidad de estabilizadores para máxima durabilidad y su baja familiaridad en las normativas europeas de empaques, lo cual exige ensayos adicionales. Se califica con una complejidad media (2), donde su ingreso depende de alianzas estratégicas en desarrollo de alimentos innovadores.

MERCADO NORTEAMERICANO

Para el caso del mercado norteamericano (entendido como Estados Unidos y Canadá) representa el mayor consumidor global de empaque flexible, con tasas de crecimiento anual compuesto cercanas al 4 % en valor y un gasto per cápita superior a 250 USD (Smithers, 2023), se presenta como una oportunidad estratégica para empresas de empaques flexibles colombianas capaces de incorporar tecnologías emergentes y empaques inteligentes, pero el acceso está mediado por exigentes marcos regulatorios, fuertes economías de escala y sofisticadas cadenas de valor.

El enfoque de este mercado está centrado en empaques inteligentes, con tecnologías integradas que garanticen la calidad del producto durante el transporte y almacenamiento. A continuación, se ofrece un examen detallado, tecnología por tecnología segmentadas en el grupo de empaques emergentes y empaques inteligentes, de las oportunidades detectadas, de las barreras normativas, técnicas y competitivas, y de la complejidad real de ingreso, entendida como el grado de inversión relacional, financiera y organizacional necesaria para operar de forma sostenible y que representan una oportunidad para las empresas de empaques colombianas.

Grupo Tecnologías	Tecnología	Oportunidades en Norteamérica y Canadá	Posibles barreras de entrada	Complejidad de ingreso
Tecnologías Emergentes y Empaques Inteligentes	Impresión digital	Creciente demanda de empaques personalizados en alimentos, bebidas y cosmética; auge del comercio electrónico.	Requerimientos de certificación en materiales de contacto con alimentos (FDA y Health Canada).	2 Medio
	Etiquetado inteligente	Los consumidores exigen transparencia y trazabilidad; mayor interés en etiquetas interactivas (RFID, NFC).	Altos costos de chips/RFID; exigencia de bilingüismo en etiquetado en Canadá.	3 Alta
	Impresión 3D de envases	Oportunidad en prototipado rápido y empaques diferenciados en pharma y suplementos.	Regulaciones sanitarias estrictas; aún en etapa experimental.	3 Alta
	Impresión de códigos QR	Alta adopción en marketing y trazabilidad; Bajo costo y fácil integración.	Competencia local consolidada.	1 Baja
	Tintas comestibles	Creciente interés en innovación para confitería y repostería.	Regulaciones FDA y CFIA estrictas en inocuidad alimentaria.	3 Alta
	Envases inteligentes con sensores	Gran oportunidad en productos perecederos (carnes, frutas, lácteos); tendencia a reducir el desperdicio.	Costos elevados de producción; Necesidad de cadenas logísticas frías avanzadas.	3 Alta
	Blockchain en trazabilidad	Transparencia para exportaciones hacia cadenas premium; cumplimiento con criterios ESG.	Necesidad de integrar sistemas logísticos complejos.	2 Media-Alta
	Envases con conectividad IoT	Potencial en logística y exportaciones sensibles (farmacéuticos, perecederos).	Regulación de transmisión de datos; dependencia de telecomunicaciones locales.	3 Alta

Tabla 17: Mercado Norteamericano matriz de oportunidades, barreras y complejidad de ingreso, Fuente: Elaboración propia, datos de vigilancia tecnológica.

Impresión digital

La impresión digital se ha consolidado en Norteamérica como el estándar para tirajes cortos, personalización y campañas omnicanal, impulsada por el crecimiento del comercio electrónico pospandemia y por la segmentación de nichos de consumo (Deloitte, 2024). Para los exportadores colombianos, la ventaja comparativa radica en el diferencial de costos laborales y en la capacidad de ofrecer tiempos de entrega reducidos gracias a la proximidad geográfica ya la vigencia de TLC Colombia-EE. UU. y del TLC Colombia-Canadá. Sin embargo, la Food and Drug Administration y Health Canada exigen certificaciones en Buenas Prácticas de Manufactura, migración de tintas y trazabilidad de insumos, cuyo proceso de homologación puede demorarse de seis a doce meses y requerir auditorías in situ (FDA, 2024). La complejidad de ingreso se clasifica como media porque, aunque la tecnología es madura y la curva de aprendizaje operativa es corta, se necesita capital para prensas digitales de alto volumen y para un sistema de gestión documental compatible con la norma 21 CFR Part 11.

Etiquetado inteligente (RFID, NFC y sensores impresos)

El consumidor norteamericano valora la transparencia en origen, atributos ESG y la experiencia interactiva en punto de venta; por ello, el etiquetado inteligente muestra tasas de adopción superiores al 15 % anual en productos frescos y de conveniencia (Mordor Intelligence, 2024). Para una empresa colombiana la oportunidad radica en proveer soluciones integrales –etiqueta, software y analítica– a importadores que buscan optimizar inventarios y reducir mermas. El obstáculo principal es el costo unitario de los inlays RFID y la necesidad de asegurar compatibilidad con los estándares GS1 US y EPCglobal, así como la obligación de etiquetado bilingüe en Canadá (CFIA, 2024). Además, la logística inversa para recuperación de datos requiere acuerdos con distribuidores mayoristas, encareciendo la entrada. Se considera una complejidad alta porque el negocio transita de la fabricación pura a un modelo de “servitización” que implica capacidad de integración de sistemas y soporte postventa.

Impresión 3D de envases

La fabricación aditiva aplicada al envase se encuentra aún en fase de exploración comercial, aunque ya se observan pilotos en suplementos nutricionales personalizados y en farmacias hospitalarias (PMMI, 2023). Para Colombia representa un nicho de alto valor donde la ventaja no es el costo sino la agilidad en el diseño y la producción “on-demand” para muchos ultracortos. Las barreras incluyen la escasa estandarización de materiales aptos para contacto con alimentos y la exigencia de datos toxicológicos que prueban biocompatibilidad, proceso que puede costar más de 100 000 USD por referencia ante la FDA. Debido a que la curva de adopción tecnológica es temprana y requiere personal altamente especializado en diseño paramétrico, la complejidad de ingreso es alta.

Impresión de códigos QR

El uso de códigos QR como puente entre empaque y contenido digital se ha disparado después de la pandemia; más del 70 % de los consumidores canadienses escanean códigos para obtener información de origen o promociones (Gobierno de Canadá, 2024). Para productores colombianos, el costo incremental es bajo, puesto que la generación e impresión del código se integra fácilmente al flujo de impresión existente. La barrera radica en la diferenciación: los convertidores locales ofrecen el servicio a precios muy competitivos, por lo que la propuesta debe integrar storytelling de marca o contenido de realidad aumentada para evitar la competencia exclusivamente en precio. Por la relativa simplicidad técnica y la ausencia de requisitos regulatorios específicos, la complejidad de ingreso se clasifica como baja.

Tintas comestibles

Las tintas comestibles habilitan personalización directa sobre alimentos y envases solubles, atractivos para repostería y productos infantiles premium. A pesar de que la demanda existe, la normativa es estricta: todo aditivo debe estar listado en el Título 21 CFR Partes 70-73 y superar pruebas de migración y estabilidad, mientras que la CFIA exige notificación previa y evidencia toxicológica (FDA, 2024). Los costos de ensayo de lote piloto, validación de estabilidad acelerada y registro pueden superar los 250 000 USD. Ello posiciona la complejidad de ingreso como alta, pues la barrera es eminentemente regulatoria y de capital intensivo en I+D.

Envases inteligentes con sensores de frescura

Sensores impresos capaces de detectar compuestos volátiles o variaciones de pH se alinean con la agenda de reducción de desperdicio alimentario, política priorizada tanto por el USDA como por la CFIA. Las cadenas de valor de carne y lácteos ya pagan primas

de hasta 15 % por envases que amplifican la vida útil y ofrecen indicadores visuales de frescura (Smithers, 2023). El reto consiste en integrar electrónica orgánica o indicadores químicos sin comprometer la sellabilidad y la reciclabilidad; Además, los importadores norteamericanos exigen estudios de vida útil validados por laboratorios acreditados ISO 17025. La complejidad del ingreso es alta por la necesidad de codesarrollo con minoristas y por la inversión en líneas de producción híbridas que combinan impresión funcional y empaques convencionales.

Blockchain en trazabilidad

La trazabilidad basada en registros inmutables responde a la presión regulatoria de la FSMA 204 en EE.UU. UU., que exige a partir de enero de 2026 mantener un registro digital de extremo a extremo sobre la cadena de suministro de alimentos de alto riesgo. Esto crea una oportunidad para proveedores capaces de ofrecer empaques con identificadores únicos enlazados a plataformas blockchain, aportando transparencia y facilitando el cumplimiento (Deloitte, 2024). No obstante, integrar blockchain con sistemas ERP de importadores y con la infraestructura de aduanas requiere competencias de ciberseguridad y acuerdos de intercambio de datos transfronterizos. La complejidad es media-alta: la barrera es más de integración digital y gobernanza de datos que de fabricación, pero exige alianzas estratégicas y recursos humanos especializados.

Envases con conectividad IoT

La combinación de sensores, baterías de película fina y conectividad (Bluetooth Low Energy o LTE-M) permite el monitoreo de variables críticas en tiempo real durante el transporte. Para exportadores colombianos de flores, frutas exóticas y productos farmacéuticos refrigerados, esta tecnología puede reducir pérdidas y diferenciar la oferta. Las barreras comprenden la homologación de dispositivos radiofrecuencia en ambos

países, la negociación con portadores de telefonía para aviones M2M y la gestión de grandes volúmenes de datos. La complejidad de ingreso es alta por la triple dimensión – hardware, software y telecomunicaciones– que excede la competencia tradicional de un convertidor de empaque flexible.

Reflexión transversal sobre estrategias de entrada

Desde una perspectiva de la teoría de la internalización y el paradigma ecléctico de Dunning, las ventajas de Colombia residen en recursos naturales (polímeros de caña, residuos de palma) y en costos laborales competitivos; Sin embargo, para capturar el mercado norteamericano se requieren ventajas de propiedad basadas en innovación y cumplimiento normativo. Los tratados de libre comercio reducen el arancel a cero, pero no eliminan los costos de conformidad ni la asimetría de información. Por ello, las barreras analizadas son predominantemente de tipo institucional (North, 1990) y de capacidades dinámicas, más que arancelarias.

En términos de complejidad, las tecnologías se pueden agrupar en tres niveles: baja (códigos QR), media (impresión digital y blockchain), y alta (RFID, sensores, IoT, tintas comestibles, 3D). Para las empresas colombianas la recomendación es adoptar una estrategia escalonada: comenzar con innovaciones de baja complejidad que generen flujo de caja y aprendizaje regulatorio, para luego avanzar hacia soluciones de alto valor añadido mediante alianzas conjuntas con proveedores de electrónica impresos o integradores de sistemas.

El análisis confirma que la oportunidad para el sector colombiano de empaques flexibles en Norteamérica y Canadá es real pero matizada. Las tecnologías emergentes ofrecen nichos rentables, especialmente en sostenibilidad y transparencia, ámbitos en los que la

demanda crece a doble dígito. No obstante, la principal barrera deriva del cumplimiento regulatorio y de la necesidad de capacidades tecnológicas que van más allá de la mera conversión de sustratos. La complejidad de ingreso crece exponencialmente cuando la propuesta de valor incorpora elementos electrónicos, bioactivos o de conectividad. Por lo tanto, el camino más viable combina una estrategia de incrementalismo tecnológico con la construcción de redes colaborativas que distribuyen costos y riesgos de certificación, mientras se fortalece la reputación de la industria colombiana como un aliado confiable en innovación sostenible.

MERCADO ASIA-PACIFICO

Por su parte, Asia-Pacífico representa un mercado emergente con un alto consumo masivo, donde la eficiencia de costos y escalabilidad tecnológica son factores clave de competitividad. Visto de esta manera, Asia-Pacífico representa una oportunidad de integrar diferentes tipos de tecnologías que representen eficiencia en costos, generen impacto ambiental positivo y una trazabilidad en tiempo real. A continuación, se presentan las tecnologías que pueden contribuir a lograr este objetivo y que las empresas de empaques flexibles de Colombia pueden explorar como una oportunidad: (ver en siguiente página)

Grupo	Tecnología	Oportunidades (Asia-Pacífico, enfoque costo)	Posibles barreras de entrada	Complejidad de ingreso
Biopolímeros y Materiales Sostenibles	Almidón de papa (y otras féculas locales)	Materia prima abundante y barata (yuca, maíz, batata); ecosistema de extrusión y filmación ya instalado en China, Tailandia e India; Aranceles de exportación a APAC muy bajos para bioplásticos.	Propiedades barrera limitadas; variabilidad de calidad agrícola; Falta de certificaciones compost EN 13432 en algunos países.	2 Medio.
	Celulosa microfibrilada	Costos mínimos cuando se integra a plantas de pulpa y papel existentes (China, Japón); alto rendimiento mecánico → se reduce el calibre de la película y el costo por m².	Necesidad de secado energético; inversiones en refinadores; competencia interna con pulpa para papel.	3 Alta
	Películas de quitosano	Subproducto de la industria camaronera (Vietnam, India) → feedstock casi sin costo; actividad antimicrobiana intrínseca evita aditivos extra.	Sensible a la humedad; escala industrial limitada; percepción "alérgenos marinos".	3 Alta
	Ácido poliláctico (PLA)	Capacidades de polimerización de lactida en China y Tailandia han bajado costos < US\$1.7/kg-1; Las mezclas con PBAT permiten extrusión en líneas convencionales.	Volatilidad precio de maíz; reclamaciones de dumping en mercados de destino; tasa de compostaje industrial insuficiente.	2 Medio
Nanotecnología y Nanomateriales	Nanocompuestos polímero-arcilla	2-5 % w/w de montmorillonita eleva barrera O ₂ ≈30 x y permite películas 15 % más delgadas → ahorro de resina; arcillas se extraen localmente (China, India).	La dispersión homogénea requiere órganos compatibilizantes; Aún se debate marco regulatorio (Japón, Corea).	2 Medio
	Nanopartículas de óxido de zinc.	El ZnO se produce una escala química masiva en China (entre 5 y 8 dólares EE.UU. kg-1); confiere UV-shield y antimicrobiano sin costos de partículas Ag.	Posible migración iónica; exigencia declaratoria en etiquetado; estudios toxicológicos en curso.	1 Baja
Empaque Funcionales y Reciclaje Avanzado	Reciclaje mecánico de plástico (r-PE/r-PP)	Policiefrinas pos consumo disponibles y baratas; gobiernos (China, India) exigen 25 – 50 % contenido reciclado → mercado cautivo; CAPEX bajo para lavadoras y extrusoras de doble tornillo regionales.	Contaminación por tintas y olores; variabilidad de propiedades; certificaciones de calidad alimentaria es casca.	1 Baja
	Tecnologías de reciclaje químico (pirólisis-depolimerización)	Incentivos fiscales en Corea y Japón; produce nafta reciclada competitiva frente a nafta fósil cuando el crudo > US\$75/bbl; acceso prioritario a créditos de carbono.	CAPEX ≥ US\$180 M por planta; alto consumo energético; incertidumbre regulatoria sobre "material reciclado".	3 Alta
Tecnologías Emergentes e Inteligentes	Impresión digital (ink-jet, tóner)	Tirajes cortos para comercio electrónico local; eliminar clichés y cilindros (ahorro ~US\$0,18/m² vs flexografía); proveedores HP-Indigo, Fujifilm instalados en China y Singapur.	Costos tintas/fotopolímeros aún altos; velocidad < 300 m min-1 limita gran escala; requiere operadores especializados.	2 Medio
	Impresión de códigos QR / serialización	Genera trazabilidad con solo integrar módulo de datos variables; evita etiquetas RFID caras (US\$ 0,04 frente a US\$ 0,10-0,15 por unidad).	Dependencia de conectividad del teléfono inteligente; falsificación de códigos; estandarización GS1 sin uniforme.	1 Baja

Tabla 18: Mercado Asia-Pacífico matriz de oportunidades, barreras y complejidad de ingreso, Fuente: Elaboración propia, datos de vigilancia tecnológica.

En Asia-Pacífico la oportunidad de aprovechar la lógica de la eficiencia en costos se apalanca en cuatro factores estructurales:

- Disponibilidad de biomasa y minerales baratos (por ejemplo, el almidón de mandioca cuesta 25-30 % menos que la fécula importada en Europa),
- Cadenas de suministro locales con integración vertical (pulpa-papel, refinerías, petroquímica) que reducen fletes externos,
- Políticas públicas que premian el contenido reciclado o de origen renovable, otorgando créditos fiscales y acceso preferencial a licitaciones.

- d. Reducción del peso representado en gramos por metro cuadrado (g/m²) de las estructuras actuales a fin de reducir el consumo de plástico y mejorar la eficiencia de las unidades obtenidas por kilo de material final.

En biopolímeros, esto se traduce en márgenes brutos 8-12 % superiores versus Norteamérica cuando la fuente vegetal es doméstica. Para los nanocompuestos arcilla-polímero, el diferencial de costo se explica por economías de escala mineras y por la reducción de espesor de la película, una disminución de 3 µm en un empaque de snack supone ahorros de resina de USD120 por tonelada. Asimismo, la digitalización (impresión, ink-jet, QR) permite prescindir de utillajes y acortar tirajes: estudios de Mordor Intelligence muestran que el punto de equilibrio cae de 50 000 a 5 000 bolsas por referencia frente a flexografía tradicional [Digital Printing Packaging Market, 2025].

Sin embargo, el principal obstáculo no es el precio del material, sino la dispersión de normas técnicas que se deben cumplir para entrar a los diferentes mercados por ejemplo: China exige GB-4806 para materiales en contacto con alimentos; Japón sigue JHOSPA; Australia se rige por AS 2070. Esta divergencia obliga a validaciones de migración repetidas, incrementando el costo regulatorio hasta un 7 % del CAPEX inicial. En nanomateriales persiste la incertidumbre toxicológica (p. ej. ZnO), lo que puede derivar en etiquetas de advertencia que afectan la percepción del consumidor [Gayathri et al., 2024]. Las infraestructuras de reciclaje mecánico muestran altos niveles de contaminación por tintas —según Towards Packaging, 37% de los fardos de r-PE en India superan los límites de colorimetría para grado alimentario (2025).

Complejidad de implementación.

Tecnologías basadas en recursos locales y procesos estándar (reciclaje mecánico, códigos QR) presentan baja complejidad: el know-how está maduro y existen proveedores de maquinaria en la región. Por el contrario, celdas de producción de PLA o plantas de pirólisis exigen alianzas híbridas (licencia de NatureWorks o BASF, acuerdos de offtake con petroquímicas), elevando la complejidad. En nanocompuestos, la barrera es la compatibilización interfacial; el índice de dispersión ($d\text{-spacing} < 1.2 \text{ nm}$) requiere extrusión de doble tornillo con sistemas de dosificación gravimétrica de precisión sub-1 %, equipo poco habitual en pymes latinoamericanas.

Implicaciones estratégicas para empresas colombianas.

Primero, la ventaja comparativa radica en seleccionar tecnologías donde el costo de la resina o la infraestructura represente $\leq 40 \%$ del costo total puesto en Asia, permitiendo competir vía margen logístico (productos de mayor valor, menor peso). Segundo, conviene ingresar a través de “toll Converters - Maquilas” asiáticos para sortear las pruebas regulatorias locales, especialmente en Chitosano y Monóxido de Zinc (ZnO). En tercer lugar, la monetización de créditos de carbono ya reconocidos por Corea del Sur puede financiar la prima de inversión inicial en líneas de PLA o reciclaje químico. Finalmente, un posicionamiento “latino-Asia” con storytelling de economía circular puede capturar precio-premium en categorías nicho (café especial, frutas exóticas), aun dentro de un mercado orientado a bajo costo.

El examen de las tecnologías emergentes aplicadas a los empaques flexibles permite constatar que los mercados de la Unión Europea, Norteamérica y Asia-Pacífico ofrecen escenarios divergentes pero complementarios para las empresas colombianas que

buscan expandir su presencia internacional. Estos escenarios están condicionados tanto por regímenes regulatorios diferenciados como por patrones de consumo y dinámicas competitivas específicas.

En el caso de la Unión Europea, la presión normativa en materia de sostenibilidad y circularidad se erige como el principal eje de transformación. La legislación vinculante en torno a la prohibición de plásticos de un solo uso, las exigencias de reciclabilidad y los objetivos de neutralidad climática al 2050 impulsan la adopción de biopolímeros, materiales compostables y tecnologías de reciclaje avanzadas. Para las empresas colombianas, este mercado representa una oportunidad de alineación con una agenda global de sostenibilidad, aunque la necesidad de certificaciones exigentes, la trazabilidad regulatoria y la inversión en I+D constituyen desafíos significativos que requieren alianzas estratégicas y procesos de transferencia tecnológica.

Por su parte, el mercado norteamericano se caracteriza por una mayor disposición del consumidor y de las cadenas de retail a pagar por productos que integran innovación funcional y diferenciación tecnológica. Los empaques inteligentes capaces de garantizar trazabilidad, seguridad alimentaria y experiencias de consumo interactivas han ganado protagonismo, acompañados de un creciente interés en materiales sostenibles. No obstante, la competencia por patentes, los costos iniciales de adopción y la necesidad de certificaciones de amplio reconocimiento configuran barreras que limitan el acceso inmediato a pequeños y medianos productores.

En contraste, Asia-Pacífico se distingue por una dinámica centrada en la competitividad en costos y la escalabilidad industrial. Tecnologías como los sistemas de impresión digital de bajo costo, el uso de nanomateriales particularmente óxidos metálicos como el zinc

para prolongar la vida útil de los alimentos y dispositivos de trazabilidad de bajo costo (ejemplo: RFID económicos) ofrecen ventajas tangibles en cadenas de suministro sensibles al precio. Sin embargo, factores como la fragmentación regulatoria, las diferencias culturales en la percepción de la sostenibilidad y la presión de un entorno altamente competitivo reducen la posibilidad de competir desde la diferenciación.

En conjunto, los hallazgos de este capítulo permiten afirmar que la estrategia de internacionalización de la industria colombiana de empaques flexibles debe ser diferenciada por el mercado. Mientras que en la Unión Europea el énfasis debe situarse en la sostenibilidad radical y el cumplimiento normativo, en Norteamérica la prioridad descansará en la innovación tecnológica, la funcionalidad del empaque y la creación de valor agregado; y en Asia-Pacífico, la competitiva se alcanzará mediante soluciones costo-eficientes, escalables y adaptables a la dinámica local.

En términos generales, las oportunidades que ofrecen las tecnologías emergentes en empaques flexibles se ven contrapesadas por barreras y complejidades que exigen de las empresas colombianas una lectura estratégica y flexible de los mercados internacionales. En este sentido, la construcción de capacidades tecnológicas apoyadas en la cooperación internacional, la innovación local y la inserción en cadenas de valor globales constituye una condición indispensable para consolidar una presencia sostenible y competitiva en los principales bloques económicos del mundo.

VARIABLES QUE CONTRIBUYEN AL CRECIMIENTO DE LA DEMANDA DEL SECTOR DE EMPAQUES FLEXIBLES:

CRECIENTE CONSUMO DE ALIMENTOS ENVASADOS Y PROCESADOS

Se espera que el creciente consumo de alimentos envasados y procesados impulse el crecimiento del mercado de envases flexibles durante el período previsto, la necesidad de alimentos con periodos de preparación más cortos o de consumo inmediato como congelados, envasados, enlatados; coadyuvan a que esta tendencia sobre este consumo se mantenga. Las marcas de alimentos están adoptando envases flexibles, esto por la facilidad que tienen en el transporte del material de empaque y la rapidez con la que estos permiten hacer cambios en lanzamientos de nuevos productos. Por lo tanto, el alto consumo de alimentos envasados y procesados probablemente impulsará la demanda de envases flexibles en el mercado.

CRECIMIENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR Y REGULACIONES SOSTENIBLES

La transición hacia modelos de economía circular abre nuevas posibilidades de expansión. Países como Alemania, Francia y Canadá han adoptado normativas estrictas sobre el uso de plásticos de un solo uso, favoreciendo la demanda de empaques biodegradables y reciclables (European Commission, 2023). Este marco regulatorio constituye un punto clave para que la industria colombiana incorpore materiales innovadores y logre una ventaja competitiva sostenible en mercados globales.

MAYOR ATENCIÓN DEL CONSUMIDOR A LA SOSTENIBILIDAD Y LA CONVENIENCIA:

La creciente inclinación de los consumidores hacia los productos sostenibles y de conveniencia es otro factor importante que probablemente impulsará el mercado. Las cambiantes preferencias de los consumidores se deben a los estilos de vida agitados y a la demanda de unidades domésticas más pequeñas que sean fáciles de usar, transportar, abrir, almacenar y desechar, y que se adapten a sus estilos de vida en constante movimiento. La comodidad del embalaje es un importante motivador de compra para los consumidores. Afecta la preferencia del consumidor hacia un diseño o tipo de embalaje particular e influye en su comportamiento. Por lo tanto, es probable que estos factores impulsen el crecimiento del mercado.

AUMENTO DE LOS LANZAMIENTOS DE ENVASES INNOVADORES PARA AUMENTAR EL CRECIMIENTO DEL MERCADO

El lanzamiento de envases innovadores para ampliar la base de clientes de la empresa y atraer más clientes es un factor importante que probablemente creará oportunidades lucrativas para el crecimiento del mercado, las marcas líderes en el mundo utilizan tecnologías como el Eye Tracking para lograr tener en góndolas el producto con el empaque que más llame la atención de sus consumidores. Las empresas que operan en el mercado de envases flexibles se centran en la fabricación de soluciones de envases sostenibles e innovadoras para los usuarios finales. Por ejemplo, FreeForm Packaging AB lanzó un laminado de papel estirable por una cara en 2021, basado en un 85 por ciento de papel. El laminado de papel estirable tiene dos capas. Estas capas de polietileno están presentes para proteger el embalaje y el contenido.

CRECIENTE DEMANDA DE ENVASES FLEXIBLES EN EL SECTOR DEL COMERCIO ELECTRÓNICO

Se espera que la creciente demanda de impresión digital y comercio electrónico cree oportunidades lucrativas para el crecimiento del mercado. Los envases flexibles son muy adecuados para el comercio electrónico porque minimizan los costos de envío debido a su peso ligero y pueden construirse para adaptarse con precisión al transporte de paquetes pequeños. Por ejemplo, la creciente demanda de empaques flexibles por parte de Amazon y otros minoristas de comercio electrónico para estándares específicos de empaques flexibles que deben resistir el proceso de envío de paquetes ha generado inmensas oportunidades para que los principales actores lleven la última tecnología al mercado global. (Research, 2022).

DESAFÍOS PARA LA INTERNACIONALIZACIÓN

A pesar del panorama favorable, las empresas colombianas enfrentan desafíos estructurales que limitan su posicionamiento en los mercados internacionales. Entre ellos se destacan:

Crecientes preocupaciones medioambientales por el uso de envases de plástico flexible

Las crecientes preocupaciones ambientales restringieron el uso de envases de plástico flexible, lo que probablemente obstaculice el crecimiento del mercado de envases flexibles durante el período previsto. Las bolsas de plástico no reciclables se han convertido en una importante fuente de contaminación a nivel mundial. Existe

preocupación por el plástico en la basura y los desechos marinos. Por lo tanto, estas preocupaciones resultaron ser un desafío importante para la industria del embalaje flexible.

Normativas técnicas y ambientales estrictas

La Unión Europea y Norteamérica cuentan con regulaciones avanzadas en términos de composición de materiales, reciclabilidad, seguridad alimentaria y migración de sustancias químicas (Ej: Reglamento (CE) N° 1935/2004 de la UE) El Reglamento de Envases y Residuos de Envases (PPWR) de la Unión Europea, publicado el 22 de enero de 2025.

Competencia global avanzada

Empresas de Europa, Asia y Estado Unidos, tienen dentro de sus presupuestos una alta inversión en investigación, desarrollo e innovación (I+D+i), economías de escala consolidadas y sistemas de certificación internacional robustos que les otorgan ventajas competitivas sustanciales en los mercados globales.

A ejemplo, Constantia Flexibles, con sede en Austria, pero fuerte presencia en Alemania ha liderado el desarrollo de empaques monomateriales reciclables bajo su línea EcoLam, cumpliendo con la normativa europea EN 13430 sobre reciclabilidad de materiales (Constantia Flexibles, 2023; European Committee for Standardization, 2004). Esta empresa también ha fortalecido su cadena de suministro sostenible a través de alianzas con industrias farmacéuticas y de alimentos que exigen estándares estrictos como BRC Packaging y certificaciones ambientales tipo ISO 14001 (British Retail Consortium, 2022; International Organization for Standardization, 2015).

En Japón, la empresa Toppan Printing Co. Ltd. ha desarrollado la serie de películas GL FILM, un empaque de barrera transparente que combina alta protección con reciclabilidad, utilizado tanto en alimentos sensibles como en componentes electrónicos (Toppan Printing Co. Ltd., 2023). Este tipo de innovación ha sido clave para ingresar a mercados regulados con altos requisitos de seguridad.

Por su parte, en Estados Unidos, Berry Global Inc. y Amcor se destacan por sus soluciones en empaques flexibles sostenibles y biodegradables. Berry Global ha implementado materiales reciclables y compostables con cumplimiento de normativas como la FDA para contacto con alimentos (Berry Global Inc., 2023; U.S. Food and Drug Administration, 2023). Amcor, además, ha integrado sensores inteligentes en empaques para trazabilidad en tiempo real, con un enfoque en innovación circular en más de 40 países (Amcor, 2023).

Con este tipo de desarrollos estas compañías no solo han invertido en tecnología, sino también en procesos de certificación que les permiten acceder a mercados con exigencias técnicas complejas, generando barreras de entrada para empresas de países en desarrollo que no cuentan con estas capacidades estructurales (OECD, 2020) y tampoco existen programas de gobierno que busquen estas articulaciones de investigación y desarrollo.

Débil articulación interinstitucional

La escasa integración entre clústeres productivos, universidades y entidades públicas reduce significativamente la capacidad del sector para impulsar procesos de innovación abierta, desarrollar estándares internacionales y fortalecer sus capacidades de absorción tecnológica. Esta desconexión limita la transferencia efectiva de conocimiento científico-

tecnológico hacia las empresas, especialmente las pequeñas y medianas, que requieren del apoyo de centros de investigación y políticas públicas para escalar sus procesos de innovación (Chaminade & Vang, 2008).

En Colombia, aunque existen iniciativas como las Redes de Conocimiento, los Pactos por la Innovación y los clústeres regionales apoyados por entidades como Innpulsa Colombia y Colciencias (ahora MinCiencias), su impacto aún es limitado en sectores como el de empaques, donde los desarrollos tecnológicos no logran traducirse rápidamente en productos exportables o certificables internacionalmente (Consejo Privado de Competitividad, 2023).

Asimismo, el escaso alineamiento entre las agendas de investigación de las universidades y las demandas reales del sector productivo impide que se consoliden plataformas de colaboración sostenida, como se observa en países con modelos de triple hélice funcionales, como Alemania o Corea del Sur (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000). Esta fragmentación institucional debilita la construcción de capacidades colectivas, dificulta la obtención de certificaciones internacionales y obstaculiza la creación de soluciones sostenibles con alto valor agregado para mercados globales.

Logística y Costos de adaptación tecnológica

Las condiciones logísticas como infraestructura portuaria, infraestructura vial, costos de transporte interno representan una barrera a sortear en temas logísticos por parte de las empresas del sector en Colombia; adicional la inversión en materiales sostenibles, maquinaria avanzada y moldear los procesos de producción innovadores implica altos costos iniciales que pueden representar barreras para las empresas.

ANÁLISIS ESTRATÉGICO DOFA DEL SECTOR DE EMPAQUES FLEXIBLES EN COLOMBIA

El sector de empaques flexibles en Colombia ha mostrado un crecimiento notable en la última década, impulsado por la expansión del comercio minorista, la internacionalización de las industrias de alimentos y farmacéutica, y la necesidad de soluciones más sostenibles en el contexto de la economía circular. No obstante, enfrenta retos derivados de la presión regulatoria, la dependencia de materias primas importadas, y la necesidad de innovación tecnológica. En este capítulo se realiza un análisis DOFA detallado que servirá como base para definir una estrategia de competitividad sostenible hacia 2030.

Fortalezas (F)	Debilidades (D)
F1. Alta capacidad instalada y experiencia exportadora en empaques para alimentos, flores y fármacos.	D1. Alta dependencia de materias primas vírgenes (resinas plásticas) importadas, afectadas por tasas de cambio.
F2. Acuerdos sectoriales como Visión Circular y buenas prácticas en reciclaje posindustrial.	D2. Bajo nivel de incorporación de contenido reciclado postconsumo en los empaques flexibles.
F3. Presencia de empresas multinacionales y clústeres locales con capacidades de coextrusión avanzada.	D3. Brechas tecnológicas en reciclaje químico, compostabilidad y economía circular real.
F4. Capacidad de adaptación al diseño funcional, estético y de marca.	D4. Informalidad en la cadena de suministro (recicladores, acopiadores, transformadores menores).
Oportunidades (O)	Amenazas (A)
O1. Crecimiento de mercados internacionales (EE. UU., UE, Centroamérica) con alta demanda de empaques sostenibles.	A1. Endurecimiento de regulaciones ambientales (Ley 2232/22, UE 2025/40, responsabilidad extendida del productor).
O2. Incentivos financieros para proyectos de economía circular e inversión extranjera sostenible.	A2. Competencia con gigantes asiáticos (China, India, Vietnam) en precio y escala de producción.
O3. Avances en tecnologías de ecodiseño, mono-materiales y barreras biodegradables.	A3. Rechazo social creciente a los plásticos y percepción negativa del consumidor final.
O4. Posibilidades de articulación con cadenas agrícolas, farmacéuticas y cosméticas para empaques inteligentes.	A4. Falta de infraestructura en municipios para separación en fuente y reciclaje postconsumo a gran escala.

Tabla 19: Matriz DOFA del sector de empaques en Colombia. Fuente: Elaboración propia.

Fortalezas (F)	Debilidades (D)
F1. Alta capacidad instalada y experiencia exportadora en empaques para alimentos, flores y fármacos.	D1. Alta dependencia de materias primas vírgenes (resinas plásticas) importadas, afectadas por tasas de cambio.
F2. Acuerdos sectoriales como Visión Circular y buenas prácticas en reciclaje posindustrial.	D2. Bajo nivel de incorporación de contenido reciclado postconsumo en los empaques flexibles.
F3. Presencia de empresas multinacionales y clústeres locales con capacidades de coextrusión avanzada.	D3. Brechas tecnológicas en reciclaje químico, compostabilidad y economía circular real.
F4. Capacidad de adaptación al diseño funcional, estético y de marca.	D4. Informalidad en la cadena de suministro (recicladores, acopiadores, transformadores menores).
Oportunidades (O)	Amenazas (A)
O1. Crecimiento de mercados internacionales (EE. UU., UE, Centroamérica) con alta demanda de empaques sostenibles.	A1. Endurecimiento de regulaciones ambientales (Ley 2232/22, UE 2025/40, responsabilidad extendida del productor).
O2. Incentivos financieros para proyectos de economía circular e inversión extranjera sostenible.	A2. Competencia con gigantes asiáticos (China, India, Vietnam) en precio y escala de producción.
O3. Avances en tecnologías de ecodiseño, mono-materiales y barreras biodegradables.	A3. Rechazo social creciente a los plásticos y percepción negativa del consumidor final.
O4. Posibilidades de articulación con cadenas agrícolas, farmacéuticas y cosméticas para empaques inteligentes.	A4. Falta de infraestructura en municipios para separación en fuente y reciclaje postconsumo a gran escala.

Tabla 20: Cruce DOFA del sector de empaques en Colombia. Fuente: Elaboración propia.

El análisis DOFA evidencia que el sector de empaques flexibles en Colombia se encuentra en una encrucijada estratégica: si bien dispone de fortalezas estructurales y oportunidades globales, enfrenta vulnerabilidades sistémicas que podrían comprometer su crecimiento sostenible a mediano plazo.

Desde la perspectiva teórica de la ventaja competitiva sostenible (Barney, 1991), el sector debe transformar sus recursos valiosos (como capacidad de diseño, flexibilidad y alianzas) en capacidades dinámicas que puedan evolucionar frente a presiones regulatorias internacionales. Esto implica el desarrollo de capacidades organizacionales orientadas a la innovación ambiental (Teece, 2007) y una lectura sistémica de la cadena de valor bajo el paradigma de economía circular.

El cruce FO propone una estrategia de especialización exportadora inteligente, enfocada en empaques para sectores de alto valor agregado (alimentos orgánicos, cosmética natural, farmacéutica). Por su parte, el cruce DO sugiere una hoja de ruta de transición estructural, en donde la política pública debe reducir la informalidad y estimular innovación abierta.

El cuadrante DA, de mayor vulnerabilidad, requiere atención urgente desde lo institucional y gremial, pues en él convergen las brechas estructurales del país: informalidad, baja innovación, falta de infraestructura pública, y percepción negativa del plástico. La política industrial debe priorizar este cuadrante mediante instrumentos financieros, tecnológicos y educativos que permitan transitar hacia empaques sostenibles, trazables y reciclables.

Recomendaciones estratégicas

- a. **Inversión en innovación colaborativa:** Crear centros de excelencia en empaques sostenibles y fomentar laboratorios de economía circular público-privados.
- b. **Formalización y certificación de proveedores informales:** Integrar recicladores y transformadores pequeños en plataformas de trazabilidad.
- c. **Adopción de tecnologías de reciclaje químico y compostabilidad:** Acceder a fondos verdes internacionales para adquirir tecnología.
- d. **Promoción de estándares internacionales (ISO 14040, EN 13432):** Facilitar la exportación de productos conforme a regulaciones europeas y norteamericanas.

- e. **Campañas de legitimación social del sector:** Comunicar los avances y casos de éxito en sostenibilidad y circularidad.

OBJETIVO 3: DISEÑO ESTRATÉGICO PARA LA COMPETITIVIDAD INTERNACIONAL BASADO EN TECNOLOGÍAS INNOVADORAS EN EMPAQUES FLEXIBLES

En el dinámico panorama global actual, la industria de empaques flexibles se enfrenta a una encrucijada estratégica marcada por la convergencia de exigencias ambientales, transformaciones tecnológicas aceleradas y dinámicas de mercado cada vez más complejas. Los últimos años han evidenciado una creciente demanda de soluciones de empaque que no solo sean sostenibles y eficientes, sino también capaces de ofrecer alto rendimiento funcional y adaptabilidad a distintos contextos regulatorios. Esta presión multidimensional ha obligado a las empresas del sector a reevaluar constantemente sus estrategias, especialmente aquellas orientadas a la internacionalización y al posicionamiento competitivo en mercados exigentes.

En este contexto, el presente capítulo plantea un análisis profundo del sector de empaques flexibles, el cual se encuentra cada vez más regulado y sensible a la innovación en materiales, trazabilidad y funcionalidad. Para ello, se propone el desarrollo de un roadmap tecnológico como herramienta metodológica que permita visualizar, estructurar y guiar la adopción de tecnologías emergentes en el corto, mediano y largo plazo. Este enfoque no solo responde a las exigencias del mercado, sino que también se alinea con los hallazgos de los objetivos anteriores de esta investigación, los cuales

identificaron las tecnologías más relevantes para el sector y caracterizaron el entorno macroeconómico, político y regulatorio de los principales destinos internacionales.

La competitividad internacional en el ámbito de los empaques flexibles no puede ser comprendida únicamente desde la perspectiva de costos o eficiencia operativa. Si bien estos factores siguen siendo relevantes, el éxito en mercados como la Unión Europea, Norteamérica, Asia-Pacífico depende cada vez más de la capacidad de las empresas para diferenciarse tecnológicamente, demostrar compromiso con la sostenibilidad ambiental y adaptarse ágilmente a normativas específicas (OECD, 2020; European Commission, 2023). En consecuencia, este capítulo propone un enfoque estratégico integral que articula cuatro pilares fundamentales: innovación, sostenibilidad, digitalización y escalabilidad. Estos ejes no solo permiten responder a las demandas actuales del mercado, sino que también configuran una plataforma sólida para la expansión internacional de las empresas del sector.

La metodología adoptada para definir el roadmap tecnológico se estructura en cuatro fases secuenciales, diseñadas para proporcionar una visión integral de las tecnologías clave, evaluando su nivel de sofisticación, grado de madurez y requisitos para su adopción efectiva. Este enfoque se fundamenta en los planteamientos de Schilling (2013), De Weck (2022) y Daim (2023), quienes destacan la importancia de vincular la evolución tecnológica con la estrategia empresarial y la dinámica del entorno competitivo. A través de esta herramienta, se busca que la industria de empaques flexibles pueda desarrollar una estrategia sostenible y competitiva, capaz de adaptarse a los desafíos del presente y anticiparse a las oportunidades del futuro.

FASE 1. IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE TECNOLOGÍAS EMERGENTES:

En esta fase, se realizó un ejercicio de vigilancia tecnológica y una revisión exhaustiva de literatura científica y bases de datos de patentes. Se seleccionaron las tecnologías relevantes para el sector de empaques flexibles, clasificadas según su grado de sofisticación tecnológica (básica, intermedia o avanzada). Esto incluye tanto tecnologías emergentes como tecnologías maduras con potencial para ser mejoradas o adaptadas a las nuevas necesidades del mercado alimentario.

FASE 2. ANÁLISIS DE TRANSICIÓN TECNOLÓGICA Y REQUISITOS DE

ADOPCIÓN: En esta fase se evaluaron los requerimientos para la adopción y desarrollo de cada tecnología, incluyendo aspectos como costos de implementación, escalabilidad, compatibilidad con la normativa de seguridad alimentaria, y su impacto ambiental. El análisis también examinó la infraestructura y el know-how requerido para la adopción efectiva de cada tecnología.

FASE 3. DESARROLLO DEL ROADMAP PARA LA ADOPCIÓN EN EL CORTO,

MEDIANO Y LARGO PLAZO: En esta fase se construyó el roadmap que establece un cronograma de adopción tecnológica. Las tecnologías se dividieron en tres categorías: corto plazo (tecnologías maduras listas para su implementación), mediano plazo (tecnologías en desarrollo con potencial de adopción en los próximos 3-5 años), y largo plazo (tecnologías emergentes que requieren más investigación y desarrollo antes de su adopción masiva).

FASE 4. VALIDACIÓN CON ACTORES CLAVE DE LA INDUSTRIA: La cuarta fase involucró la validación del roadmap con actores clave del sector industrial. Se realizaron consultas con especialistas en empaques, sostenibilidad, y logística, con el fin de asegurar que las tecnologías identificadas y los plazos definidos en el roadmap sean realistas y aplicables a las necesidades del mercado.

La validación se realizó mediante análisis de contenido sistemático de documentos corporativos, informes de sostenibilidad, comunicaciones institucionales y registros públicos de empresas líderes del sector de empaques flexibles en Colombia. Este enfoque metodológico se fundamenta en la técnica de triangulación de fuentes secundarias propuesta por Denzin (1978) y adaptada para estudios de competitividad sectorial por Yin (2018), que permite validar hallazgos mediante la convergencia de múltiples fuentes de evidencia independientes.

Criterios de selección de la muestra empresarial:

Se seleccionaron empresas que cumplieran al menos tres de los siguientes criterios:

Liderazgo sectorial: Empresas con facturación superior a USD 20 millones anuales o reconocimiento como referentes del sector por ACOPLÁSTICOS.

Trayectoria de innovación: Empresas con inversiones documentadas en I+D, adopción de tecnologías sostenibles o desarrollo de productos innovadores en los últimos 5 años.

Transparencia informativa: Disponibilidad de reportes de sostenibilidad, informes anuales, comunicados de prensa o presencia activa en medios especializados del sector.

Diversidad geográfica: Representación de las principales regiones productoras (Bogotá D.C., Valle del Cauca, Antioquia, Atlántico).

Orientación exportadora: Empresas con operaciones de exportación documentadas o estrategias explícitas de internacionalización.

Con los resultados, se construyeron tres rutas tecnológicas en tres horizontes temporales: corto, mediano y largo plazo, proporcionando una guía para la implementación escalonada de nuevas tecnologías.

El resultado general del ejercicio de vigilancia permitió la identificación de tecnologías emergentes en el sector de empaques flexibles, calificadas por categorías tecnológicas, el grado de sofisticación de cada tecnología y los requerimientos para su adopción y desarrollo. Esta clasificación se enfoca en las transiciones tecnológicas necesarias para implementar dichas tecnologías, clasificándolas en tres niveles: alto, medio, y bajo, según se muestra en la tabla siguiente:

Grupo de Tecnología	Grado de sofisticación tecnológica	Requerimientos para su adopción y desarrollo (transición tecnológica)		
		Alto	Medio	Bajo
Films comestibles y recubrimientos	Básicas o convencionales	Películas de gelatina	Almidón de papa	Gelatina de pescado
		Películas de quitosán	Proteína de suero	Ácido láctico
		Ácido poliláctico	Celulosa	Carragenina
		Alcohol polivinílico	Caseína	Alginato
Nanotecnología y nanocompuestos	Avanzado	Nanopartículas de plata	Películas nanocompuestas	Nanolíbridos
		Nanopartículas de óxido de cobre	Nanocristales	Películas basadas en nanopartículas de plata
		Nanopartículas de dióxido de titanio	Morfología de nanopartículas	Nanocompuestos de silicatos en capas
		Nanopartículas de óxido de zinc	Nanofibras	Bionanocompuestos
			Nanocompuestos de polímero-arcilla	Nanocompuestos de polímero
Propiedades mecánicas y de barrera	Básicas o convencionales	Propiedades de barrera	Propiedades mecánicas	Propiedades térmicas
		Permeabilidad al oxígeno	Propiedades de tracción	Propiedades reológicas
			Comportamiento de cristalización	
			Permeabilidad al vapor de agua	
Propiedades antimicrobianas y antioxidantes	Básicas o convencionales	Propiedades antioxidantes	Agentes antibacterianos	Colorantes naturales
		Propiedades antimicrobianas	Aceites esenciales	Extractos
		Películas activas	Compuestos bioactivos	Probióticos
Propiedades funcionales y de liberación controlada	Avanzado	Liberación controlada	Propiedades funcionales	Péptidos bioactivos
		Liberación sostenida	Superficie de respuesta	Encapsulación
		Bioactividad	Cinética de difusión	
Procesos de fabricación y evaluación de seguridad	Básicas o convencionales	Procesos de fabricación	Pruebas mecánicas	Evaluación de estabilidad
		Evaluación de seguridad	Análisis químico	Estudios de migración
		Evaluación de exposición	Estudios de degradación	Declaraciones de consumo
		Evaluación de vida útil	Comportamiento de sorción	
Tecnologías de reciclaje y sostenibilidad	Básicas o convencionales	Materiales de origen renovable	Reciclaje de plásticos	Tecnologías de reciclaje químico
		Estrategias de diseño para la circularidad	Envases biodegradables	
Tecnologías de impresión y etiquetado	Intermedio	Impresión digital	Etiquetas RFID	Etiquetado inteligente
		Impresión de códigos QR	Tintas comestibles	
Tecnologías de envasado activo e inteligente	Intermedio	Envasado con absorción de oxígeno	Sensores de frescura	Envasado con absorción de etileno
		Envasado con liberación de agentes antimicrobianos	Indicadores de temperatura	
Tecnologías emergentes	Avanzado	Envases inteligentes con capacidad de interactuar con el consumidor	Impresión 3d de envases	Envases con capacidad de autoreparación
		Nanosensores para monitoreo de calidad		Tecnologías de envasado inspiradas en la naturaleza (biomimética)

Tabla 21: Detalle de tecnologías por tipo de complejidad para implementación. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se identifican, se clasifican y sistematizan las principales tecnologías emergentes y convencionales aplicadas al sector de empaques flexibles, con el propósito de establecer un referente estratégico para la configuración de un roadmap

tecnológico. Dichas tecnologías comprenden desde soluciones tradicionales, como los films comestibles y recubrimientos, hasta desarrollos avanzados vinculados a la nanotecnología, nanocompuestos y sistemas de liberación controlada. Asimismo, se destacan tecnologías orientadas al mejoramiento de propiedades mecánicas, de barrera, antimicrobianas y antioxidantes, junto con innovaciones en procesos de fabricación, seguridad, impresión, etiquetado e incluso envasado activo e inteligente. De manera complementaria, cobran especial relevancia los avances en materia de reciclaje y sostenibilidad, los cuales se perfilan como ejes transversales en respuesta a los crecientes desafíos ambientales y las exigencias regulatorias internacionales. Finalmente, la clasificación permite identificar la complejidad para su adopción en las empresas.

1. Films comestibles y recubrimientos (básicas o convencionales)

Esta categoría incluye tecnologías convencionales utilizadas en empaques comestibles, como los films de gelatina, chitosan, ácido poliláctico, y alcohol polivinílico (PVA).

Alto requerimiento: Incluye tecnologías que requieren materiales más especializados como gelatina, chitosán, y PLA.

Medio requerimiento: Involucra proteínas más accesibles como almidón de papa y celulosa.

Bajo requerimiento: Se destacan tecnologías que dependen de materiales más comunes, como el ácido láctico y el carrageno.

2. Nanotecnología y nanocompuestos (avanzado)

Esta categoría agrupa tecnologías que utilizan nanopartículas y nanocompuestos para mejorar las propiedades de los empaques.

Alto requerimiento: Involucra el uso de nanopartículas de plata, cobre, dióxido de titanio, y óxido de zinc para mejorar las propiedades antimicrobianas y de barrera de los empaques.

Medio requerimiento: Incluye nanocompuestos y nanocristales que permiten la creación de filmes con mayores capacidades.

Bajo requerimiento: Se exploran las combinaciones de materiales como híbridos y bionanocompuestos que requieren menos sofisticación para ser adoptados.

3. Propiedades mecánicas y de barrera (básicas o convencionales)

Estas tecnologías se centran en mejorar las propiedades físicas de los empaques, como la barrera de oxígeno y la permeabilidad al vapor de agua. Adicionalmente, permiten la sellabilidad, la impresión y el desempeño en máquinas automáticas de empaclado.

Alto requerimiento: Involucra la mejora de las propiedades de barrera de los materiales.

Medio requerimiento: Se centra en mejorar las propiedades mecánicas como la resistencia a la tensión.

Bajo requerimiento: Se exploran propiedades térmicas y reológicas de los materiales.

4. Propiedades antimicrobianas y antioxidantes (básicas o convencionales)

Tecnologías que mejoran las propiedades de los empaques para prolongar la vida útil de los productos.

Alto requerimiento: Antioxidantes y películas activas que requieren desarrollo avanzado.

Medio requerimiento: Agentes antimicrobianos como aceites esenciales y compuestos bioactivos.

Bajo requerimiento: Tecnologías basadas en colorantes naturales y probióticos.

5. Propiedades funcionales y de liberación controlada (avanzado)

Tecnologías avanzadas que permiten la liberación controlada de compuestos activos.

Alto requerimiento: Sistemas de liberación controlada y liberación sostenida de compuestos.

Medio requerimiento: Propiedades funcionales relacionadas con la superficie de los empaques.

Bajo requerimiento: La encapsulación y liberación de péptidos bioactivos.

6. Procesos de fabricación y evaluación de seguridad (básicas o convencionales)

Se refiere a tecnologías involucradas en la fabricación y seguridad del empaque, donde se busca la inclusión de innovación en equipos y procesos que permitan hacer un uso óptimo de los materiales compostables, pero a costos razonables.

Alto requerimiento: Procesos de manufactura y evaluación de la seguridad.

Medio requerimiento: Pruebas mecánicas y análisis químicos.

Bajo requerimiento: Estudios de migración y consensos regulatorios.

7. Tecnologías de reciclaje y sostenibilidad (básicas o convencionales)

Estas tecnologías están enfocadas en la sostenibilidad a través del reciclaje de materiales.

Alto requerimiento: Uso de materiales de origen renovable.

Medio requerimiento: Reciclaje de plásticos y biodegradabilidad que brinde soluciones de tipo monomaterial (un solo tipo de polímero en la estructura) para facilitar la reciclabilidad.

Bajo requerimiento: Tecnologías de reciclaje químico.

8. Tecnologías de impresión y etiquetado (intermedio)

Se centra en métodos innovadores para el etiquetado y la impresión en empaques.

Alto requerimiento: Impresión digital de alta calidad que mejora el rendimiento en el proceso de la impresión en línea.

Medio requerimiento: Etiquetas RFID y códigos QR.

Bajo requerimiento: Tintas comestibles y etiquetado inteligente.

9. Tecnologías de envasado activo e inteligente (intermedio)

Tecnologías diseñadas para interactuar con el contenido y mejorar la calidad del empaque.

Alto requerimiento: Envasado con absorción de oxígeno y agentes antimicrobianos.

Medio requerimiento: Sensores de frescura y temperatura.

Bajo requerimiento: Envasado con absorción de etileno.

10. Tecnologías emergentes (avanzado)

Tecnologías avanzadas con alto potencial disruptivo en el mercado.

Alto requerimiento: Envases inteligentes capaces de interactuar con el consumidor.

Medio requerimiento: Impresión 3D de envases.

Bajo requerimiento: Envases con capacidad de autoreparación e inspirados en la biomimética.

De lo anterior, se puede establecer tres rutas tecnológicas para la configuración de un roadmap para el sector:

- **Ruta # 1:** Innovación en films comestibles y recubrimientos (sostenibilidad y seguridad alimentaria).
- **Ruta # 2:** Nanotecnología y propiedades funcionales avanzadas (mejora de la conservación de alimentos y propiedades mecánicas).
- **Ruta # 3:** Tecnologías de reciclaje y sostenibilidad (materiales renovables y reducción de residuos plásticos).

RUTA TECNOLÓGICA 1: INNOVACIÓN EN FILMS COMESTIBLES Y RECUBRIMIENTOS

Visión estratégica:

En un contexto donde la sostenibilidad se ha convertido en un imperativo de mercado, el desarrollo de films comestibles y recubrimientos posiciona a la industria del empaque flexible como pionera en la transición hacia soluciones más ecológicas y biodegradables. Esta ruta tiene como objetivo transformar los procesos productivos, optimizando materiales accesibles y emergentes con alto potencial de escalabilidad y aceptación por parte de los consumidores.

Horizontes temporales de innovación: Corto plazo (1-2 años):

Acción prioritaria: fomentar la adopción de films a base de gelatina y chitosán, que ofrecen propiedades de barrera y antimicrobianas adecuadas para aplicaciones alimentarias, garantizando una transición eficiente desde materiales plásticos tradicionales.

Requerimientos críticos: establecimiento de cadenas de suministro sólidas de almidón de papa, proteína de suero y caseína, a fin de asegurar un pipeline de materias primas robusto para las industrias de envase.

Impacto en la industria: se prevé una reducción inmediata en el uso de plásticos convencionales, contribuyendo a los objetivos de sostenibilidad de corto plazo con una implementación viable en mercados clave.

Mediano plazo (3-5 años):

Acción prioritaria: expansión hacia biopelículas avanzadas que utilicen materiales como celulosa y alginatos. Estas tecnologías permitirán una optimización significativa de las propiedades barrera, sin comprometer la biodegradabilidad ni la seguridad alimentaria.

Requerimientos críticos: adaptación industrial para la producción a gran escala de films comestibles, incentivada mediante políticas regulatorias y alianzas público-privadas.

Impacto en la industria: se espera una penetración más amplia en los mercados europeos y norteamericanos, donde las regulaciones medioambientales exigen empaques más sostenibles.

Largo plazo (5-10 años):

Acción prioritaria: desarrollo de films comestibles activos, con propiedades antimicrobianas y antioxidantes, optimizados para extender la vida útil de los productos alimentarios.

Requerimientos críticos: innovación en la aplicación de aceites esenciales, compuestos bioactivos y probióticos, complementado con líneas de producción adaptadas para manejar estos materiales sensibles.

Impacto en la industria: el mercado global adoptará empaques que sean sostenibles y aporten valor añadido al consumidor mediante la preservación de alimentos de manera más efectiva y segura.

RUTA TECNOLÓGICA 2: NANOTECNOLOGÍA Y PROPIEDADES FUNCIONALES AVANZADAS

Visión estratégica

La nanotecnología redefine las reglas del juego en el sector de empaques flexibles, al introducir materiales con propiedades funcionales avanzadas que permiten una mejora exponencial en la capacidad de preservación de alimentos. Esta ruta tiene como eje central.

La integración de nanopartículas en los films de empaque, otorgando a los envases propiedades mecánicas superiores y funciones de liberación controlada.

Horizontes temporales de innovación: Corto plazo (1-2 años):

Acción prioritaria: implementar el uso de nanopartículas de plata y dióxido de titanio en films para dotarlos de capacidades antimicrobianas, sin comprometer la transparencia y flexibilidad del material.

Requerimientos críticos: capacitación técnica en la manipulación de nanomateriales y actualizaciones en la línea de producción para integrar estos elementos avanzados.

Impacto en la industria: empaques con propiedades antimicrobianas que aumentan la vida útil de productos alimentarios frescos, ofreciendo una ventaja competitiva inmediata en sectores alimentarios sensibles como carnes, lácteos y vegetales.

Mediano plazo (3-5 años):

Acción prioritaria: optimizar las propiedades barrera mediante nanofibras y tecnologías a escala nanométrica. Estos desarrollos mejorarán tanto la resistencia mecánica de los films como su capacidad para bloquear gases y vapores, asegurando la frescura de los alimentos por períodos prolongados.

Requerimientos críticos: inversión en tecnología de procesamiento y certificación de empaques que cumplan con los estándares de seguridad alimentaria internacional.

Impacto en la industria: la adopción masiva de estas tecnologías será un catalizador en la reducción de desperdicios alimentarios a nivel global, optimizando las cadenas de suministro alimentarias.

Largo plazo (5-10 años):

Acción prioritaria: implementar bionanocompuestos avanzados que proporcionen una protección física superior y monitoreen activamente la calidad del contenido mediante sensores inteligentes.

Requerimientos críticos: desarrollo de capacidades industriales para integrar sensores nanométricos en los films sin aumentar significativamente los costos de producción.

Impacto en la industria: surge un nuevo estándar de empaques inteligentes que interactúan con los productos, mejorando la experiencia del consumidor y proporcionando datos en tiempo real sobre la frescura y calidad.

RUTA TECNOLÓGICA 3: TECNOLOGÍAS DE RECICLAJE Y SOSTENIBILIDAD

VISIÓN ESTRATÉGICA:

A medida que la presión regulatoria y el escrutinio social sobre el impacto ambiental aumentan, la adopción de tecnologías de reciclaje avanzadas y el uso de materiales sostenibles se vuelven indispensables. Esta ruta se enfoca en la transición hacia un modelo circular, con el reciclaje y la biodegradabilidad como pilares fundamentales.

Horizontes temporales de innovación: Corto plazo (1-2 años):

Acción prioritaria: iniciar la integración de materiales de origen renovable en las líneas de producción de empaques, optimizando el uso de plásticos reciclables en combinación con envases biodegradables.

Requerimientos críticos: desarrollo de infraestructuras de reciclaje que sean capaces de manejar eficientemente estos nuevos materiales, y alianzas estratégicas con proveedores de materias primas sostenibles.

Impacto en la industria: los empaques flexibles se posicionarán como líderes en la reducción de residuos plásticos, cumpliendo con las regulaciones ambientales más estrictas y contribuyendo a la economía circular.

Mediano plazo (3-5 años):

Acción prioritaria: escalar la implementación de tecnologías de reciclaje químico, capaces de descomponer plásticos complejos en sus componentes básicos, permitiendo su reutilización infinita sin pérdida de calidad.

Requerimientos críticos: inversión en instalaciones de reciclaje químico y colaboración con organismos regulatorios para establecer estándares de calidad y seguridad para plásticos reciclados.

Impacto en la industria: la industria alcanzará un punto de inflexión en la eliminación de desechos, consolidando su compromiso con la sostenibilidad y mejorando sus métricas de huella de carbono.

Largo plazo (5-10 años):

Acción prioritaria: implementación de envases autoreparables y nanosensores de monitoreo de calidad, inspirados en procesos naturales (biomimética), que garanticen la integridad del empaque y la calidad del producto durante todo su ciclo de vida.

Requerimientos críticos: innovación en el diseño de envases y una estrecha colaboración con centros de investigación para perfeccionar las tecnologías de autoreparación y monitoreo de calidad.

Impacto en la industria: esta tecnología avanzada permitirá a los fabricantes crear envases con una vida útil prolongada y capacidades de reparación automática, lo que reducirá los costos de desperdicio y mejorará la sostenibilidad general.

A partir de la identificación y categorización de las tecnologías clave para el sector de empaques flexibles que abarcan desde films comestibles y recubrimientos hasta desarrollos disruptivos en nanotecnología, sostenibilidad y envasado inteligente, se configura un escenario que trasciende la simple disponibilidad de innovaciones y exige la formulación de un marco estratégico integral. Este análisis técnico-tecnológico permite

reconocer no solo el potencial de estas rutas de innovación, sino también la necesidad de articularlas con principios de gestión estratégica orientados a la sostenibilidad, la adaptación tecnológica y la proyección internacional. En este sentido, la transición desde la descripción tecnológica hacia la construcción de un programa estratégico representa un paso crítico: mientras las primeras ofrecen las herramientas y posibilidades de transformación, el segundo establece la hoja de ruta que permitirá capitalizar dichas oportunidades, anticipar tendencias y consolidar una ventaja competitiva sostenible en los mercados internacionales.

En este contexto, el presente programa estratégico busca no solo responder a estas exigencias, sino también presentar ideas preliminares para anticipar las futuras tendencias, posicionando al sector de empaques flexibles a través de una ventaja competitiva sostenible.

El presente objetivo, es un pilar fundamental que muestra el proceso de estrategias para competir eficazmente en mercados internacionales, lo cual como se verá no solo depende de la calidad del producto, sino también de la agilidad para integrar y capitalizar las tecnologías más avanzadas. Este objetivo se centra en la formulación de estrategias que permitan a las empresas del sector no solo adoptar, sino también liderar la innovación en empaques flexibles, desde la selección de materiales avanzados y procesos de fabricación optimizados, hasta la implementación de soluciones inteligentes y conectadas. Al hacerlo, se busca fortalecer la posición de las empresas del sector en el escenario global, abriendo nuevas vías de crecimiento y asegurando una diferenciación clara frente a la competencia.

PRINCIPIOS ESTRATÉGICOS PARA LA HOJA DE RUTA

Enfoque sostenible

El enfoque sostenible constituye la piedra angular de cualquier hoja de ruta orientada a la competitividad internacional en la industria de empaques flexibles, pues integra de manera sistémica los imperativos ambientales, sociales y económicos que definen la agenda global de desarrollo (PNUMA, 2024). Desde la perspectiva teórica de la Ventaja Competitiva Sostenible (Barney, 1991) y las Capacidades Dinámicas (Teece, 2007), la sostenibilidad no puede limitarse a la simple sustitución de materiales o a la reducción marginal de impactos; debe configurarse como un proceso transformacional que atraviesa toda la cadena de valor, desde la eco-diseñabilidad de los polímeros hasta la logística inversa y la post-vida útil del producto (Ellen MacArthur Foundation, 2023). En ese sentido, las empresas líderes han demostrado que la incorporación de biopolímeros compostables, el diseño mono-material para reciclabilidad y la adopción de modelos de economía circular no solo mitigan externalidades negativas, sino que generan sinergias de eficiencia operativa, reputación corporativa y acceso a incentivos fiscales y financieros (Comisión Europea, 2023).

A nivel práctico, la estrategia sostenible exige la institucionalización de métricas robustas, como la Huella de Carbono, el Índice de Material Reciclado (RMI) y el Water Scarcity Footprint que permitan monitorear el desempeño ambiental y compararlo con benchmarks internacionales (Global Reporting Initiative, 2021). Paralelamente, la dimensión social frecuentemente relegada debe abordarse mediante la formalización de

recicladores informales, la igualdad de género en la fuerza laboral y la generación de empleo verde, aspectos que la literatura vincula con incrementos en la productividad y la legitimidad social de la industria (Porter & Kramer, 2019). Finalmente, el componente económico del enfoque sostenible exige un modelo financiero que internalice costos ambientales futuros mediante mecanismos como los bonos de sostenibilidad o el precio del carbono y que evalúe la tasa interna de retorno (TIR) de proyectos verdes frente a inversiones tradicionales (OCDE, 2022). De esta manera, la sostenibilidad trasciende su carácter filantrópico y se posiciona como un catalizador de rentabilidad de largo plazo, preparando a las firmas para esquemas regulatorios más estrictos por ejemplo, el Reglamento de Envases y Residuos de Envases de la Unión Europea (PPWR 2024) y para mercados intensamente sensibles a criterios ESG (Environmental, Social and Governance).

Adaptación tecnológica

La adaptación tecnológica se configura como un principio crítico estratégico, dado que la velocidad de obsolescencia en materiales, procesos y modelos de negocio se ha acelerado exponencialmente en la última década (Rotolo, Hicks & Martin, 2015). Planificar una hoja de ruta que impulsa la competitividad internacional obliga a concebir la tecnología no solo como un recurso, sino como una capacidad dinámica que evoluciona en respuesta a la incertidumbre del entorno (Kagermann, 2021). En la industria de empaques flexibles, esta adaptación implica la adopción de manufactura aditiva (impresión 3D de moldes y prototipos), sensores de internet industrial de las cosas (IIoT) para trazabilidad en tiempo real, y algoritmos de analítica predictiva que optimicen el consumo energético y reduzcan mermas (Lu et al., 2022). Asimismo, tecnologías

emergentes como blockchain proporcionan transparencia en la cadena de suministro, facilitando la verificación de atributos sostenibles y el cumplimiento de regulaciones de Responsabilidad Extendida del Productor (REP) (Foro Económico Mundial, 2023).

Para operacionalizar la adaptación tecnológica, la literatura recomienda la implementación de sistemas de vigilancia tecnológica y de inteligencia competitiva que identifiquen señales tempranas de discontinuidades tecnológicas y permitan el alineamiento estratégico con redes de innovación abierta (Chesbrough, 2020). Los Centros de Excelencia en empaques sostenibles bajo un esquema triple hélice de colaboración universidad–empresa–gobierno actúan como nodos de transferencia de conocimiento y de capacitación especializada, reduciendo barreras de absorción tecnológica en pymes (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000). La inversión en I+D, medida como porcentaje de ventas, se correlaciona positivamente con la penetración internacional y la capacidad de diferenciación de producto (Hitt, Ireland & Hoskisson, 2020). Sin embargo, estudios recientes advierten que los retornos de dicha inversión se maximizan cuando se combinan con estrategias de propiedad intelectual sólidas por ejemplo, carteras de patentes defensivas y licenciamiento cruzado que protejan los resultados de innovación frente a competidores globales (OMPI, 2024). En síntesis, la adaptación tecnológica no solo habilita la eficiencia operativa y la calidad, sino que refuerza la posición estratégica en mercados que exigen soluciones avanzadas y personalizables, reduciendo la elasticidad precio y ampliando el poder de negociación con distribuidores internacionales.

Orientación al mercado internacional

El principio de orientación al mercado internacional articula los dos ejes anteriores, sostenibilidad y tecnología con la comprensión profunda de los marcos regulatorios, las tendencias de consumo y la estructura competitiva de los destinos objetivo (Cavusgil et al., 2021). Desde la óptica del Paradigma Ecléctico (Dunning, 1988) y la Teoría de la Internalización, las empresas deben desarrollar ventajas de propiedad (O), de localización (L) y de internalización (I) que justifiquen la inversión en mercados externos. Para el sector de empaques flexibles, ello implica mapear las barreras arancelarias, las normas técnicas como la FDA 21 CFR 177 en EE. UU. o la EFSA Reglamento 10/2011 en la UE, y las preferencias de consumidores que priorizan envases reciclables, conveniencia y seguridad alimentaria (Organización Mundial del Comercio, 2024).

Las cadenas globales de valor exigen además una logística resiliente, la integración de puertos inteligentes, acuerdos de servicios de valor agregado con operadores 3PL y sistemas de trazabilidad basados en RFID o códigos QR dinámicos (GS1, 2023). En términos de estrategia comercial, la literatura señala que los acuerdos comerciales multilaterales (T-MEC, Acuerdo UE-Mercosur) y los instrumentos de facilitación de comercio (ventanillas únicas, certificados electrónicos) reducen los costos de transacción y aceleran la presencia en los mercados meta (UNCTAD, 2023). No obstante, la orientación internacional va más allá de la exportación tradicional, incluye la participación en plataformas de comercio electrónico transfronterizo, el licensing de marca a distribuidores locales y la formación de joint ventures para compartir riesgos regulatorios y tecnológicos (Rugman & Verbeke, 2004).

Una dimensión crítica es la inteligencia de mercado, la aplicación de análisis de big data, el uso de neuromarketing, y herramientas de escucha social permite anticipar cambios en la demanda por ejemplo, el auge de alimentos plant-based o la preferencia por presentaciones “on-the-go” y alinear el portafolio de empaques con nichos de alto valor (Mordor Intelligence, 2024). Finalmente, la gestión de marca país y el cumplimiento normativo constituyen habilitadores reputacionales que impactan la flexibilidad de entrada y la retención de clientes B2B en un contexto de mayor escrutinio sobre la sostenibilidad. De esta forma, la orientación al mercado internacional se erige como el catalizador que convierte las capacidades internas sostenibles y tecnológicas en ventajas competitivas concretas, sostenibles y rentables en el mediano y largo plazo.

COMPONENTES CLAVE DE LA HOJA DE RUTA

La medición del impacto de la hoja de ruta tecnológica requiere el establecimiento de una línea base que permita cuantificar el punto de partida del sector de empaques flexibles en Colombia y definir metas alcanzables hacia 2030. La línea base constituye el conjunto de valores actuales de los indicadores clave de desempeño (KPI) que servirán como referencia para evaluar el progreso, identificar brechas y ajustar estrategias durante la implementación del programa estratégico.

Inversión en I+D e innovación

Indicador	Dato relevante
Inversión global en I+D (2022)	€1.3 billones (crecimiento del 13% vs. 2021)
% de ingresos destinado a I+D+i en empaques flexibles	1.5% (empresas líderes del sector)
Crecimiento promedio pre-pandemia (2015-2019)	7.3% anual
Principal sector impulsor en 2022	ICT (más de €75 billones de inversión)

Tabla 22: Inversión en I+D en empaques flexibles, Fuente: Elaboración propia con base en datos de WIPO y El Empaque

Este apartado cuantifica y analiza la inversión en investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) en el mundo y Colombia durante el período 2020-2025, donde se destacan los hitos más importantes, la inversión global en I+D para el 2022, en el sector estaba alrededor de 1.3 billones de euros, presentando un crecimiento positivo de 13 pp contra el año 2021, las empresas líderes del sector dedican alrededor del 1.5% de sus ingresos en I+D, el promedio de crecimiento del gasto en I+D, en un periodo prepandemia (2015-2019) estaba alrededor del 7.3%.

Para el caso de las industrias de empaques, el desglose de las inversiones se ha dado de la siguiente manera en un periodo con datos observados de 2023,

Especificidad del subsector de empaques flexibles (2020-2025)

Desglose interno del gasto sectorial

- La relación 28/55/17 proviene de participación en ventas reportada por Acoplásticos (2023) y se corrobora con la Cuenta Satélite de Envases (DANE, 2024).
- El gasto I+D en empaques flexibles casi se duplicó (+18,0 % CAGR) entre 2020-2025, pese a la contracción inicial de la pandemia.

Crecimiento pre- y post-pandemia

Periodo	I+D Flexibles (CAGR)	Producción física (CAGR)	Comentarios
2015-2019 (antes de la COVID)	7,9 %	3,4 %	Enfocado en optimizar la coextrusión y barreras EVOH.
2020 (sorpresa)	-9,3 %	-6,7 %	Congelación de CAPEX y pilotos suspendidos.
2021-2024 (post-COVID)	19,2 %	7,6 %	Impulso de economía circular, ley REP y boom e-commerce.

Tabla 23: Inversión en I+D en empaques flexibles, Fuente: Elaboración propia con base en datos de WIPO y El Empaque

La dinámica de inversión en investigación y desarrollo (I+D) y producción física en el sector de empaques flexibles ha experimentado variaciones significativas en la última década, influenciadas por factores macroeconómicos, sanitarios y regulatorios. El análisis de las tasas de crecimiento anual compuesto (CAGR) en tres periodos clave pre-COVID (2015–2019), crisis sanitaria (2020) y recuperación post-COVID (2021–2024) permite identificar patrones de comportamiento que inciden directamente en la formulación de estrategias de competitividad internacional.

Consolidación Tecnológica

Durante el quinquenio previo a la pandemia, la inversión en I+D en empaques flexibles creció a una tasa promedio del 7,9 %, mientras que la producción física lo hizo al 3,4 %. Este crecimiento sostenido estuvo impulsado por la optimización de procesos como la coextrusión multicapa y el desarrollo de barreras funcionales como el etileno-alcohol vinílico (EVOH), ampliamente utilizadas en empaques alimentarios por su alta capacidad de bloqueo de oxígeno (Marsh & Bugusu, 2007).

La estrategia empresarial se centró en mejorar la eficiencia operativa sin comprometer la funcionalidad, lo que permitió a muchas compañías posicionarse en mercados exigentes como el europeo y el norteamericano. Este periodo se caracterizó por una inversión progresiva en tecnologías de conversión, laminación y formulación de polímeros avanzados.

Disrupción Pandémica

La irrupción de la pandemia de COVID-19 en 2020 generó una contracción abrupta en ambos indicadores. La inversión en I+D cayó un $-9,3\%$, mientras que la producción física se redujo en $-6,7\%$. Esta desaceleración se debió a la congelación de presupuestos de capital (CAPEX), la suspensión de pilotos tecnológicos y la priorización de la continuidad operativa frente a la innovación (McKinsey & Company, 2021).

Las restricciones sanitarias, el cierre de fronteras y la disrupción en las cadenas de suministro afectaron especialmente a los sectores no esenciales, entre ellos el de empaques especializados. La incertidumbre global obligó a las empresas a adoptar estrategias defensivas, limitando la exploración de nuevas tecnologías y reduciendo la capacidad instalada.

Recuperación y Reinversión

En la etapa post-COVID, se observa una recuperación acelerada en la inversión en I+D, con una tasa de crecimiento del $19,2\%$, mientras que la producción física creció al $7,6\%$. Este repunte responde a tres factores estructurales:

- Impulso de la economía circular: La presión regulatoria y social por reducir residuos plásticos incentivó el desarrollo de materiales compostables, reciclables y funcionales.
- Implementación de la Ley REP: En países como Colombia, la Responsabilidad Extendida del Productor obligó a las empresas a asumir la gestión posconsumo de sus empaques, lo que aceleró la innovación en diseño y materiales (MinAmbiente, 2024).
- Boom del comercio electrónico: El crecimiento exponencial del e-commerce generó una demanda por empaques flexibles más resistentes, ligeros y adaptables, especialmente en sectores como alimentos, cosméticos y farmacéuticos (Statista, 2024).

Implicaciones Estratégicas

El contraste entre los tres periodos evidencia una transformación estructural en el sector. La innovación tecnológica ha pasado de ser un complemento operativo a convertirse en el principal motor de competitividad. Las empresas que lograron adaptarse rápidamente al nuevo entorno, invirtiendo en tecnologías sostenibles, empaques inteligentes y procesos circulares, han fortalecido su posicionamiento en mercados internacionales.

Este análisis respalda la necesidad de un diseño estratégico integral, como se propone en la siguiente sección, que articule las rutas tecnológicas identificadas con indicadores de desempeño y metas proyectadas. La evolución de la inversión en I+D y producción física no solo refleja la resiliencia del sector, sino también su capacidad de reinversión frente a escenarios disruptivos.

Alianzas estratégicas con centros tecnológicos y universidades

Indicador	Dato relevante
Empresas que consideran la tecnología y alianzas como motor de crecimiento	67% (líderes del sector encuestados)
Tendencia de crecimiento de alianzas startup-empresas	En expansión continua (2024)
Principales beneficios de las alianzas	Acceso a conocimiento, tecnología y talento
Enfoque de colaboración	Proyectos de aprendizaje inmersivo

Tabla 24: Alianzas estratégicas con centros tecnológicos y universidades, Fuente: Elaboración propia con base en datos de El Empaque y Forbes Centroamérica.

En el contexto de transformación digital y sostenibilidad que atraviesa la industria de empaques flexibles, las alianzas tecnológicas se han consolidado como un eje estratégico para acelerar la innovación, reducir barreras de adopción y fortalecer la competitividad internacional. La colaboración entre empresas consolidadas y startups permite combinar experiencia operativa con agilidad tecnológica, generando sinergias que potencian el desarrollo de soluciones disruptivas en empaques sostenibles, inteligentes y funcionales.

Alianzas Tecnológicas como Catalizador de la Competitividad Internacional

En el contexto de transformación digital y sostenibilidad que atraviesa la industria de empaques flexibles, las alianzas tecnológicas se han consolidado como un eje estratégico para acelerar la innovación, reducir barreras de adopción y fortalecer la competitividad internacional. La colaboración entre empresas consolidadas y startups permite combinar experiencia operativa con agilidad tecnológica, generando sinergias que potencian el desarrollo de soluciones disruptivas en empaques sostenibles, inteligentes y funcionales.

Relevancia Estratégica de las Alianzas

Según el informe de PwC (2023), el 67 % de los líderes empresariales considera que las alianzas tecnológicas son esenciales para impulsar el crecimiento en sectores altamente regulados y competitivos. En el caso de los empaques flexibles, estas alianzas permiten acelerar la adopción de tecnologías como la impresión digital, los empaques inteligentes y los biopolímeros, que requieren capacidades técnicas especializadas y validaciones regulatorias complejas.

Expansión de Alianzas Startup–Empresa

La tendencia de colaboración entre startups y empresas consolidadas se encuentra en expansión continua, especialmente en sectores como agrotech, foodtech y packaging sostenible. Estas alianzas permiten a las empresas acceder a soluciones tecnológicas en fases tempranas, validar prototipos en entornos reales y escalar innovaciones con menor riesgo financiero (StartupBlink, 2024).

Beneficios Estratégicos

Los principales beneficios de las alianzas tecnológicas incluyen:

- Acceso a conocimiento especializado: Startups aportan know-how en áreas como nanotecnología, trazabilidad digital y biomateriales.
- Transferencia tecnológica: Las empresas consolidadas facilitan la industrialización de prototipos y la certificación de productos.
- Atracción de talento: Las alianzas permiten incorporar perfiles técnicos y creativos que no están disponibles en estructuras tradicionales.

Enfoque de Aprendizaje Inmersivo

Las alianzas exitosas se caracterizan por adoptar modelos de aprendizaje inmersivo, donde ambas partes comparten procesos, metodologías y objetivos estratégicos. Este enfoque permite acelerar la curva de adopción tecnológica y generar soluciones co-creadas que responden mejor a las necesidades del mercado.

Implicaciones para el Sector de Empaques Flexibles

En el marco del diseño estratégico propuesto en el Objetivo 3, las alianzas tecnológicas deben considerarse como un mecanismo clave para:

- Reducir la complejidad de ingreso a mercados internacionales.
- Compartir riesgos de inversión en tecnologías emergentes.
- Acelerar la certificación de empaques sostenibles e inteligentes.
- Fortalecer la reputación del sector colombiano como innovador y confiable.

Certificaciones y cumplimiento de normas internacionales

Indicador	Dato relevante
Certificaciones más relevantes en empaques flexibles	ISO 22000, FSSC 22000, ISO 9001
Sectores cubiertos por FSSC 22000	Plástico, papel, metal y vidrio
Reconocimiento internacional	GFSI (Global Food Safety Initiative)
Importancia para acceso a mercados globales	Alta (requisito para exportar y competir)

Tabla

25: Certificaciones y cumplimiento de normas internacionales, Fuente: Elaboración propia con base en datos de Global Standards y The Food Tech.

En el contexto de internacionalización del sector de empaques flexibles, el cumplimiento de estándares y certificaciones reconocidas globalmente se ha convertido en un requisito indispensable para acceder a mercados regulados, garantizar la seguridad alimentaria y fortalecer la reputación empresarial. Las certificaciones no solo validan la calidad de los

procesos y productos, sino que también actúan como barreras técnicas de entrada que definen la competitividad de las empresas en el comercio internacional.

Certificaciones Clave en Empaques Flexibles

Las certificaciones ISO 22000 y FSSC 22000 son estándares internacionales que garantizan la inocuidad alimentaria en toda la cadena de suministro. Su aplicación en el sector de empaques flexibles es crítica, ya que los materiales utilizados están en contacto directo con alimentos y deben cumplir con estrictos requisitos de migración química, trazabilidad y control de riesgos.

- ISO 22000: Establece un sistema de gestión de inocuidad alimentaria basado en el enfoque HACCP, aplicable a cualquier organización en la cadena alimentaria.
- FSSC 22000: Reconocida por la GFSI, combina ISO 22000 con requisitos adicionales específicos para fabricantes de materiales de empaque.
- ISO 9001: Certificación de gestión de calidad que asegura la consistencia en procesos y mejora continua.

Sectores Cubiertos y Aplicabilidad

La certificación FSSC 22000 cubre múltiples sectores de materiales de empaque, incluyendo:

- Plásticos flexibles y rígidos.
- Papel y cartón.
- Metales (aluminio, hojalata).
- Vidrio.

Esta amplitud permite a los fabricantes de empaques flexibles certificar sus procesos sin importar el tipo de sustrato utilizado, lo que facilita la diversificación de productos y la entrada a mercados con diferentes exigencias.

Reconocimiento Internacional y Alineación Regulatoria

El reconocimiento por parte de la GFSI convierte a estas certificaciones en pasaportes regulatorios para acceder a mercados como:

- Unión Europea: Requiere cumplimiento de normativas como el Reglamento (CE) N° 1935/2004 sobre materiales en contacto con alimentos.
- Estados Unidos: La FDA exige pruebas de migración y cumplimiento de la norma 21 CFR Part 177 para polímeros.
- Canadá: Health Canada establece requisitos específicos para empaques alimentarios bajo el Food and Drugs Act.

Importancia Estratégica para la Internacionalización

El cumplimiento de estas certificaciones es considerado un requisito estratégico por las empresas exportadoras, ya que:

Facilita el acceso a mercados regulados.

Reduce riesgos legales y comerciales.

Fortalece la confianza de clientes internacionales.

Permite participar en licitaciones y cadenas de suministro globales.

En el marco del diseño estratégico propuesto en el objetivo tres, se recomienda que las empresas del sector de empaques flexibles prioricen la obtención de certificaciones

reconocidas por la GFSI como parte de su estrategia de internacionalización. Esto no solo mejora la competitividad, sino que también permite diferenciarse en mercados donde la calidad y la seguridad son factores decisivos.

Formación del talento humano y reconversión laboral

Indicador	Dato relevante
Empresas que priorizan capacitación en nuevas tecnologías y sostenibilidad	52% (sector packaging 2024)
Objetivo principal de la formación	Adaptación a cambios y mejora de competitividad
Enfoque de capacitación	Tecnologías innovadoras y sostenibilidad
Impacto esperado	Empleabilidad y crecimiento profesional

Tabla 26: Formación del talento humano y reconversión laboral, Fuente: Elaboración propia con base en datos de El Empaque.

La transformación tecnológica y la transición hacia modelos sostenibles en el sector de empaques flexibles no pueden lograrse únicamente mediante la adopción de maquinaria avanzada o el rediseño de procesos productivos. La competitividad internacional exige también una inversión estratégica en el desarrollo de capacidades humanas, especialmente en la formación continua del talento que opera, diseña y gestiona los sistemas de empaque. En este sentido, la capacitación en nuevas tecnologías y sostenibilidad se convierte en un eje transversal para asegurar la adaptación organizacional, la innovación efectiva y el cumplimiento normativo en mercados globales.

Relevancia Estratégica de la Capacitación

Según el informe de Euromonitor (2024), el 52 % de las empresas del sector de empaques flexibles han priorizado la capacitación en tecnologías emergentes y sostenibilidad como parte de su estrategia de transformación. Esta tendencia responde a la necesidad de adaptar rápidamente los procesos productivos a nuevas exigencias

regulatorias, incorporar materiales innovadores y operar tecnologías como impresión digital, trazabilidad IoT y reciclaje químico.

Objetivo de la Formación: Adaptación y Competitividad

El principal objetivo de los programas de formación es facilitar la adaptación organizacional a los cambios tecnológicos, regulatorios y de mercado. La capacitación permite:

- Reducir la curva de aprendizaje en la adopción de nuevas tecnologías.
- Asegurar el cumplimiento de normativas internacionales (FDA, EFSA, ISO).
- Mejorar la eficiencia operativa y la calidad del producto.
- Fortalecer la capacidad de innovación y respuesta ante demandas del cliente.

Enfoque de Capacitación: Innovación y Sostenibilidad

Los programas de formación más efectivos combinan contenidos técnicos con enfoques de sostenibilidad. Incluyen:

- Tecnologías emergentes: impresión digital, empaques inteligentes, blockchain, reciclaje químico.
- Sostenibilidad aplicada: ecodiseño, análisis de ciclo de vida, certificaciones ambientales (ISO 14001, EN 13432).
- Gestión del cambio: liderazgo adaptativo, comunicación estratégica, cultura de innovación.
-

Impacto Esperado: Empleabilidad y Crecimiento Profesional

La capacitación en tecnologías innovadoras y sostenibilidad tiene un impacto directo en:

- Empleabilidad: mejora el perfil técnico de los trabajadores, facilitando su inserción en cadenas de valor globales.
- Crecimiento profesional: permite la especialización en áreas de alta demanda como trazabilidad digital, diseño funcional y gestión ambiental.
- Retención de talento: fortalece el compromiso del personal con la estrategia empresarial y reduce la rotación.

Implicaciones para el Diseño Estratégico

En el marco del diseño estratégico propuesto en el objetivo tres, se recomienda:

- Integrar la capacitación como componente obligatorio en los proyectos de adopción tecnológica.
- Establecer alianzas con universidades, centros de investigación y plataformas de formación técnica.
- Desarrollar programas de formación modular, adaptados a los distintos niveles de la organización.
- Medir el impacto de la capacitación mediante indicadores como productividad, calidad, cumplimiento normativo y satisfacción laboral.

Fases e hitos de implementación (2025–2030)

Fase	Período	Objetivos Principales	Hitos Clave	Inversión Estimada
Fase I: Fundación y Preparación	2025-2026	• Establecimiento de infraestructura base • Desarrollo de capacidades internas • Alianzas estratégicas iniciales	• Certificación ISO 14001 completada • Primera alianza con centro tecnológico • 15% reducción en uso de materiales vírgenes	25-30% del presupuesto total
Fase II: Desarrollo e Innovación	2026-2028	• Implementación de tecnologías innovadoras • Escalamiento de procesos sostenibles • Expansión de mercados internacionales	• Lanzamiento de 3 productos biodegradables • 30% contenido reciclado promedio • Entrada a 2 mercados internacionales	40-45% del presupuesto total
Fase III: Consolidación y Liderazgo	2028-2030	• Posicionamiento como líder del sector • Optimización de procesos circulares • Transferencia de conocimiento	• 50% de empaques reciclables/compostables • Reducción 30% emisiones CO₂ • Centro de excelencia establecido	25-30% del presupuesto total

Tabla 27: Fases e hitos de implementación 2025-2030, Fuente: Elaboración propia con base en datos de El Empaque, Mordor Intelligence. (2024). Flexible Packaging Industry Size, Forecast, Growth & Share 2030. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/flexible-packaging-market>; U.S. Plastics Pact. (2024). Roadmap 2.0: Strategic Implementation 2025-2030. <https://usplasticspact.org/roadmap/>

El diseño de una hoja de ruta estratégica para la internacionalización y sostenibilidad del sector de empaques flexibles requiere una planificación por fases, con hitos claros y medibles que permitan la gestión del cambio, la evaluación de resultados y la adaptación continua a los desafíos del entorno global (Teece, 2007; Comisión Europea, 2023). Los textos sobre gestión de la innovación y transformación organizacional enfatizan la importancia de dividir el proceso en etapas temporales, cada una con objetivos específicos, recursos asignados y mecanismos de monitoreo (Kotter, 2012; Hitt et al., 2020). A continuación, se detallan las fases propuestas para el período 2025-2030, alineadas con las mejores prácticas internacionales y las particularidades del contexto colombiano.

Corto plazo: diagnóstico, pilotos, alianzas

Corto plazo (2025–2026): Diagnóstico, pilotos y alianzas

La fase inicial de la hoja de ruta se centra en la identificación de brechas y oportunidades a través de un diagnóstico exhaustivo del sector, que debe incluir análisis DOFA,

evaluación de capacidades tecnológicas, revisión de cumplimiento normativo y mapeo de actores clave (Barney, 1991; OCDE, 2022). Este diagnóstico debe ser participativo, involucrando a empresas, gremios, universidades y entidades gubernamentales, para asegurar una visión sistémica y consensuada de los retos y potencialidades.

En paralelo, se recomienda la implementación de proyectos piloto que permitan validar tecnologías emergentes como biopolímeros, empaques inteligentes, sistemas de trazabilidad digital y procesos de reciclaje avanzados en condiciones reales de operación (Rotolo et al., 2015; FAO, 2023). Los pilotos deben diseñarse bajo metodologías ágiles, con ciclos cortos de experimentación, retroalimentación y escalamiento progresivo, lo que facilita la gestión del riesgo y la adaptación a los aprendizajes obtenidos (Chesbrough, 2020).

Un componente esencial de esta etapa es la consolidación de alianzas estratégicas. La literatura destaca que la colaboración con centros de investigación, universidades, clústeres industriales y organismos internacionales potencia la transferencia de conocimiento, el acceso a financiamiento y la generación de capacidades colectivas (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000; OMPI, 2024). En el contexto colombiano, la articulación con programas de economía circular, fondos verdes y plataformas de innovación abierta puede facilitar la adopción tecnológica y la formalización de actores informales en la cadena de valor (PNUMA, 2024).

Finalmente, esta fase debe establecer los indicadores base (línea de base) para el monitoreo de avances, incluyendo métricas ambientales, tecnológicas, Comerciales y

sociales, que serán fundamentales para la evaluación de impacto en las etapas posteriores (Global Reporting Initiative, 2021).

Mediano plazo: implementación escalada y posicionamiento comercial

Superada la etapa de diagnóstico y validación, la hoja de ruta entra en una fase de implementación escalada, donde las tecnologías, procesos y modelos de negocio probados en los pilotos se despliegan a mayor escala en el sector (Hitt et al., 2020). Este proceso requiere una gestión del cambio robusta, con capacitación intensiva del talento humano, actualización de infraestructuras y adaptación de sistemas de gestión de calidad y sostenibilidad (ISO, 2015; OCDE, 2020).

En este período, la obtención de certificaciones internacionales (ISO 9001, ISO 14001, HACCP, EN 13432) se convierte en un hito clave, pues habilita el acceso a mercados exigentes y refuerza la reputación del sector ante clientes globales (British Retail Consortium, 2022; World Trade Organization, 2024). La literatura señala que la certificación no solo es un requisito técnico, sino un diferenciador estratégico que puede traducirse en mejores precios, contratos de largo plazo y reducción de barreras no arancelarias (Comisión Europea, 2023).

El posicionamiento comercial internacional debe apoyarse en estrategias de marketing sectorial, participación en ferias y misiones comerciales, y el uso de plataformas digitales para la promoción de productos sostenibles e innovadores (Mordor Intelligence, 2024). Además, la integración de sistemas de trazabilidad y transparencia, por ejemplo, blockchain y big data permite a las empresas demostrar el cumplimiento de estándares

ESG y responder a las demandas de consumidores y reguladores (Foro Económico Mundial, 2023).

Durante esta fase, es fundamental fortalecer la inteligencia de mercado y la vigilancia tecnológica, para anticipar cambios en regulaciones, tendencias de consumo y movimientos de la competencia, ajustando la estrategia de internacionalización de manera proactiva (Chesbrough, 2020; GS1, 2023).

Largo plazo: consolidación, diversificación e innovación continua

La última fase de la hoja de ruta se orienta a la consolidación de los logros alcanzados, la diversificación de productos y mercados, y la institucionalización de la innovación continua como motor de competitividad sostenible (Teece, 2007; Porter & Kramer, 2019). En este período, las empresas deben evaluar el impacto de las implementadas, ajustando los modelos de negocio y las estrategias de sostenibilidad según los resultados obtenidos y las nuevas oportunidades identificadas.

La diversificación implica expandir el portafolio de productos hacia segmentos de mayor valor agregado como empaques para alimentos orgánicos, farmacéuticos o cosméticos y explorar mercados emergentes con alto potencial de crecimiento (Rugman & Verbeke, 2004; FAO, 2023). La literatura sugiere que la diversificación reduce la vulnerabilidad ante shocks externos y permite aprovechar economías de escala y alcance (Hitt et al., 2020).

La innovación continua debe institucionalizarse mediante la creación de laboratorios de economía circular, la participación en redes internacionales de I+D y la adopción de modelos de innovación abierta, que faciliten la absorción de tecnologías disruptivas y la

adaptación a cambios regulatorios y de mercado (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000; Chesbrough, 2020). Además, la gestión de la sostenibilidad debe evolucionar hacia esquemas de reporte integrado, alineados con los estándares GRI y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), lo que refuerza la legitimidad y el acceso a financiamiento verde (Global Reporting Initiative, 2021; UNEP, 2024).

Finalmente, la consolidación de una cultura organizacional orientada al aprendizaje y la mejora continua es esencial para sostener la competitividad internacional en el largo plazo, permitiendo a las empresas anticipar tendencias, responder a crisis y liderar la transición hacia modelos de negocio más resilientes y sostenibles (Teece, 2007; OCDE, 2022).

INDICADORES DE MONITOREO Y EVALUACIÓN

KPIs tecnológicos.

Indicador	Métrica	Meta 2026	Meta 2028	Meta 2030	Frecuencia
Eficiencia Operacional General(OEE)	% disponibilidad × rendimiento × calidad	75%	85%	90%	Diaria
Tiempo de Inactividad No Programado	Horas perdidas/mes	<48 horas	<24 horas	<12 horas	Semanal
Innovación Tecnológica	Número de patentes registradas	5 patentes	12 patentes	20 patentes	Anual
Automatización de Procesos	% procesos automatizados	30%	50%	70%	Semestral
Precisión de Inventario	% exactitud en inventarios	95%	98%	99.5%	Mensual
Capacidad de Producción Digital	% productos con impresión digital	25%	45%	65%	Trimestral
Implementación IoT	Número de sensores activos	50 sensores	150 sensores	300 sensores	Trimestral
Trazabilidad de Productos	% productos con trazabilidad completa	40%	70%	95%	Mensual

Tabla 28: KPIs Tecnológicos, Fuente: Elaboración propia con base en datos de El Empaque, Mordor Intelligence Fuentes: Industrial Packaging. (2019). Top 10 Packaging Line KPIs. <https://www.industrialpackaging.com/blog/top-10-packaging-line-kpis>; MDPI. (2021). KPIs for Operational Performance Assessment in Flexible Packaging Industry. <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/6/3498/htm>

Indicadores de Desempeño para la Competitividad Internacional en Empaques Flexibles

La implementación de tecnologías innovadoras en el sector de empaques flexibles requiere de un sistema de medición robusto que permita evaluar el impacto de dichas tecnologías en la eficiencia operativa, la sostenibilidad, la trazabilidad y la capacidad de innovación. En este sentido, se han definido ocho indicadores estratégicos que permiten monitorear el progreso hacia la competitividad internacional, con metas proyectadas para los años 2026, 2028 y 2030.

Estos permitirán medir el comportamiento de las empresas en sus sistemas productivos y permitan que las compañías mantengan en la senda de la mejora continua, a saber, estos indicadores son:

- **Eficiencia Operacional General (OEE):** El OEE es un indicador clave que mide la efectividad de los equipos productivos considerando disponibilidad, rendimiento y calidad. En el sector de empaques flexibles, alcanzar un OEE superior al 85 % implica minimizar paradas no programadas, optimizar velocidades de máquina y reducir defectos de impresión o sellado.
- **Tiempo de Inactividad No Programado:** Este indicador mide las horas perdidas por fallas inesperadas. La reducción del downtime mejora la disponibilidad y la eficiencia operativa. La implementación de mantenimiento predictivo basado en sensores IoT puede reducir estas interrupciones hasta en un 30 %.
- **Innovación Tecnológica:** El número de patentes registradas refleja la capacidad de innovación y protección de propiedad intelectual. En empaques

flexibles, esto incluye nuevos materiales, sistemas de apertura, tecnologías de trazabilidad y soluciones de sostenibilidad.

- **Automatización de Procesos:** La automatización permite reducir errores humanos, mejorar la trazabilidad y escalar operaciones. En el sector de empaques, se traduce en líneas robotizadas de impresión, corte, sellado y control de calidad.
- **Precisión de Inventario:** Una alta precisión evita sobreproducción, pérdidas y errores logísticos. El uso de RFID y sistemas ERP integrados mejora este indicador, facilitando la planificación de la producción y la trazabilidad.
- **Capacidad de Producción Digital:** La impresión digital permite tirajes cortos, personalización y reducción de desperdicio. Es clave para mercados exigentes como cosméticos, alimentos gourmet y comercio electrónico.
- **Implementación IoT:** El IoT permite mantenimiento predictivo, trazabilidad en tiempo real y control de calidad automatizado. Su adopción mejora la eficiencia, reduce el downtime y facilita la integración con sistemas de gestión.
- **Trazabilidad de Productos:** La trazabilidad completa es esencial para cumplir normativas como FSMA 204 (EE.UU.) y garantizar seguridad alimentaria. Blockchain, códigos QR y sensores inteligentes son tecnologías clave.

Estos indicadores permiten construir un sistema de gestión orientado a resultados, alineado con los objetivos de sostenibilidad, eficiencia y diferenciación tecnológica. Su implementación debe estar acompañada de una cultura organizacional de mejora continua, inversión en talento humano y alianzas estratégicas con centros de investigación y proveedores tecnológicos.

KPIs comerciales

Indicador	Métrica	Meta 2026	Meta 2028	Meta 2030	Frecuencia
Participación de Mercado Internacional	% del mercado global	5%	15%	25%	Semestral
Crecimiento de Ventas	% incremento anual	15%	20%	25%	Trimestral
Satisfacción del Cliente	Puntuación NPS	70 puntos	80 puntos	85 puntos	Trimestral
Tiempo de Entrega	Días promedio	7 días	5 días	3 días	Mensual
Rotación de Inventario	Veces por año	8 veces	12 veces	15 veces	Mensual
Productos Sostenibles en Portafolio	% del total de productos	30%	60%	80%	Semestral
Retención de Clientes	% clientes retenidos	85%	90%	95%	Anual
Nuevos Mercados Penetrados	Número de países/regiones	3 mercados	7 mercados	12 mercados	Anual
Margen de Rentabilidad	% margen EBITDA	18%	22%	25%	Trimestral

Tabla 29: KPIs Comerciales, Fuente: Businessplan Templates. (2024). How to Track KPIs for Better Performance - Sustainable Packaging. <https://businessplan-templates.com/blogs/metrics/sustainable-packaging>; Compare Your Footprint. (2024). Measuring Key KPI's for Sustainability. <https://www.compareyourfootprint.com/measuring-key-kpis-sustainability-business/>

Indicadores Estratégicos de Negocio para la Internacionalización de Empaques Flexibles

La internacionalización del sector de empaques flexibles requiere no solo de innovación tecnológica y sostenibilidad, sino también de una gestión estratégica basada en indicadores que permitan evaluar el desempeño comercial, logístico y relacional de las empresas. En este sentido, se han definido nueve indicadores clave que permiten monitorear el crecimiento, la eficiencia operativa, la fidelización de clientes y la penetración en nuevos mercados. Estos indicadores son fundamentales para alinear las capacidades internas con las exigencias del entorno global.

Participación de Mercado Internacional: Este indicador mide el posicionamiento global de la empresa en el sector de empaques flexibles. Alcanzar una participación del 25 % en 2030 implica consolidar presencia en mercados estratégicos como la Unión Europea,

Crecimiento de Ventas: El crecimiento sostenido de ventas refleja la capacidad de la empresa para escalar su modelo de negocio, adaptarse a nuevas demandas y consolidar

relaciones comerciales. En empaques flexibles, este crecimiento está vinculado a la adopción de tecnologías diferenciadoras y sostenibles.

Satisfacción del Cliente (NPS): El Net Promoter Score (NPS) mide la lealtad del cliente y su disposición a recomendar la empresa. En el sector de empaques, una alta puntuación NPS está asociada a la calidad del producto, la innovación funcional y el cumplimiento de entregas.

Tiempo de Entrega: Reducir el tiempo promedio de entrega de 7 a 3 días mejora la competitividad logística y la capacidad de respuesta ante pedidos internacionales. Esto requiere optimización de inventarios, automatización y alianzas con operadores logísticos.

Rotación de Inventario: Una rotación eficiente permite reducir costos de almacenamiento, evitar obsolescencia y mejorar la planificación de la demanda. En empaques flexibles, esto es clave para productos con alta variabilidad y ciclos cortos.

Productos Sostenibles en Portafolio: Este indicador mide el grado de transformación hacia un portafolio ecológico. Alcanzar un 90 % de productos sostenibles en 2030 implica adoptar biopolímeros, reciclaje avanzado y certificaciones ambientales.

Retención de Clientes: La retención refleja la capacidad de la empresa para mantener relaciones comerciales estables. En empaques flexibles, esto depende de la consistencia en calidad, innovación y cumplimiento normativo.

Nuevos Mercados Penetrados: Este indicador mide la expansión geográfica de la empresa. Penetrar 12 nuevos mercados en 2030 requiere una estrategia de

internacionalización diferenciada, basada en certificaciones, adaptación cultural y alianzas locales.

Margen de Rentabilidad (EBITDA): El margen EBITDA refleja la eficiencia financiera del negocio. En empaques flexibles, mejorar este indicador implica reducir costos operativos, optimizar procesos y ofrecer productos de alto valor agregado.

Esta alineación estratégica permite construir un sistema de gestión integral, donde cada indicador no solo mide resultados, sino que también orienta decisiones tácticas y estratégicas hacia la consolidación internacional del sector.

KPIs sociales

Indicador	Métrica	Meta 2026	Meta 2028	Meta 2030	Frecuencia
Satisfacción de Empleados	Puntuación encuesta	75%	85%	90%	Semestral
Diversidad e Inclusión	% empleados diversos	35%	45%	55%	Anual
Capacitación Especializada	Horas formación/empleado/año	40 horas	60 horas	80 horas	Anual
Rotación de Personal	% anual	<10%	<8%	<5%	Trimestral
Incidentes de Seguridad	Número incidentes/año	<5	<3	0	Mensual
Equidad Salarial	Brecha salarial de género	<5%	<3%	0%	Anual
Compromiso Comunitario	Inversión social/año	\$ 50,00	\$ 100,00	\$ 150,00	Anual
Proveedores Sostenibles	% proveedores certificados	40%	65%	85%	Semestral
Bienestar Laboral	Índice de bienestar	70 puntos	80 puntos	90 puntos	Semestral
Desarrollo Profesional	% empleados con plan desarrollo	60%	80%	95%	Anual

Tabla 30: KPIs Sociales, Fuente: ADEC ESG. (2024). What are ESG key performance indicators (KPIs)? <https://www.adecesg.com/resources/faq/what-are-esg-key-performance-indicators-kpis/>; Sievo. (2025). How to measure sustainable performance: KPIs and Metrics. <https://sievo.com/blog/sustainable-procurement-part6>

Indicadores de Gestión Humana y Sostenibilidad Social en Empaques Flexibles

La competitividad internacional en el sector de empaques flexibles no depende únicamente de la innovación tecnológica y la eficiencia operativa. La gestión del talento humano, la cultura organizacional y el compromiso social son pilares fundamentales para construir empresas resilientes, sostenibles y atractivas para los mercados globales. En

este contexto, se han definido diez indicadores estratégicos que permiten evaluar el desempeño en áreas clave como bienestar laboral, equidad, seguridad, formación y responsabilidad social.

Satisfacción de Empleados: La satisfacción laboral es un indicador clave de clima organizacional y compromiso. En el sector de empaques flexibles, un entorno positivo mejora la productividad, reduce errores y fortalece la retención de talento.

Diversidad e Inclusión: La diversidad impulsa la innovación y mejora la reputación corporativa. Empresas con equipos diversos tienen mayor capacidad de adaptación y comprensión de mercados internacionales.

Capacitación: La formación continua permite a los empleados adaptarse a nuevas tecnologías, procesos sostenibles y normativas internacionales. Es clave para la transformación digital y la adopción de empaques inteligentes.

Rotación de Personal: Una baja rotación indica estabilidad organizacional y eficiencia en la gestión del talento. En industrias técnicas como la de empaques, retener personal capacitado reduce costos y mejora la calidad.

Incidentes de Seguridad: La seguridad laboral es esencial en plantas de producción de empaques, donde se manejan maquinaria pesada, calor y químicos. Cero incidentes es una meta crítica para la sostenibilidad operativa.

Equidad Salarial: La equidad salarial fortalece la cultura organizacional y mejora la reputación ante clientes y socios internacionales. Es también un requisito en certificaciones ESG y reportes de sostenibilidad.

Compromiso Comunitario: La inversión social refleja el compromiso de la empresa con su entorno. En el sector de empaques, esto puede incluir educación ambiental, reciclaje comunitario y apoyo a emprendimientos locales.

Proveedores Sostenibles: Contar con proveedores certificados garantiza la trazabilidad, el cumplimiento normativo y la coherencia con los objetivos de sostenibilidad. Es clave para exportar a mercados como la UE y Canadá.

Bienestar Laboral: El bienestar físico, emocional y mental de los empleados impacta directamente en la productividad y la innovación. En contextos industriales, programas de salud y ergonomía son fundamentales.

Desarrollo Profesional: Los planes de desarrollo individual permiten alinear los objetivos personales con los estratégicos de la empresa. En el sector de empaques, esto facilita la especialización en áreas como trazabilidad, impresión digital y sostenibilidad.

Los indicadores analizados en esta sección evidencian que la competitividad internacional en el sector de empaques flexibles no puede construirse únicamente sobre bases tecnológicas o logísticas. La gestión del talento humano, la equidad organizacional, la seguridad laboral y el compromiso social son dimensiones estratégicas que fortalecen la reputación empresarial, mejoran la productividad y alinean la operación con los estándares globales de sostenibilidad.

La evolución proyectada de estos indicadores hacia el año 2030 con metas ambiciosas en satisfacción laboral, equidad salarial, diversidad, capacitación y bienestar refleja una visión empresarial integral, donde el desarrollo humano y el impacto social son tan relevantes como la eficiencia operativa o la innovación tecnológica. En mercados

internacionales cada vez más exigentes en criterios ESG (ambientales, sociales y de gobernanza), estos indicadores no solo representan buenas prácticas, sino requisitos estratégicos para acceder, competir y consolidarse.

KPIs ambientales

Indicador	Métrica	Meta 2026	Meta 2028	Meta 2030	Frecuencia
Reducción de Emisiones CO ₂	% reducción vs. línea base	15%	25%	30%	Trimestral
Uso de Materiales Recicladados	% contenido reciclado promedio	20%	35%	50%	Mensual
Consumo de Energía	kWh/tonelada producida	-10%	-20%	-30%	Mensual
Consumo de Agua	m ³ /tonelada producida	-15%	-25%	-35%	Mensual
Generación de Residuos	kg residuos/tonelada producida	-20%	-35%	-50%	Mensual
Empaques Reciclables/Compostables	% del total producido	30%	50%	70%	Trimestral
Uso de Energías Renovables	% del consumo total	25%	50%	75%	Trimestral
Huella de Carbono Scope 3	tCO ₂ eq/año	-10%	-20%	-30%	Semestral
Materiales Biodegradables	% del portafolio	15%	30%	45%	Semestral

Tabla 31: KPIs Ambientales, Fuente: ADEC ESG. (2024). What are ESG key performance indicators (KPIs)?

<https://www.adecesg.com/resources/faq/what-are-esg-key-performance-indicators-kpis/>; Sievo. (2025). How to measure sustainable performance: KPIs and Metrics. <https://sievo.com/blog/sustainable-procurement-part6>

Indicadores Ambientales para la Sostenibilidad en Empaques Flexibles

La sostenibilidad ambiental se ha convertido en un eje estratégico para la industria de empaques flexibles, especialmente en el contexto de internacionalización y cumplimiento normativo en mercados exigentes. La adopción de tecnologías limpias, materiales reciclables y procesos eficientes no solo responde a la presión regulatoria, sino también a las expectativas de consumidores, inversionistas y socios comerciales. En este marco, se han definido nueve indicadores clave que permiten monitorear el desempeño ambiental de las empresas del sector, con metas proyectadas para los años 2026, 2028 y 2030.

Reducción de Emisiones CO₂: Reducir las emisiones de dióxido de carbono es fundamental para mitigar el cambio climático y cumplir con acuerdos internacionales como el Acuerdo de París. En empaques flexibles, esto implica optimizar procesos

térmicos, reducir el uso de polímeros vírgenes y adoptar tecnologías de bajo consumo energético.

Uso de Materiales Reciclados: Incrementar el contenido reciclado en los empaques permite disminuir la dependencia de recursos fósiles, reducir la huella de carbono y facilitar la economía circular. Es especialmente relevante en estructuras multicapa, donde la reciclabilidad suele ser limitada.

Consumo de Energía: Reducir el consumo energético por tonelada producida mejora la eficiencia operativa y disminuye los costos. En plantas de conversión de empaques flexibles, esto se logra mediante motores eficientes, recuperación de calor y automatización.

Consumo de Agua: La gestión eficiente del agua es clave en procesos como la limpieza de cilindros, enfriamiento y formulación de tintas. Reducir el consumo por tonelada producida contribuye a la sostenibilidad hídrica y al cumplimiento de normativas locales.

Generación de Residuos: Minimizar los residuos sólidos generados por tonelada producida implica mejorar el aprovechamiento de materiales, reducir mermas y fomentar el reciclaje interno. Esto impacta directamente en la rentabilidad y la reputación ambiental.

Empaques Reciclables/Compostables: Aumentar el porcentaje de empaques reciclables o compostables en el portafolio permite cumplir con normativas como la Ley REP en Colombia y el Reglamento (CE) 1935/2004 en Europa. Es también una respuesta directa a la demanda del consumidor consciente.

Uso de Energías Renovables: La transición hacia fuentes renovables como solar, eólica o biomasa reduce la huella de carbono y mejora el perfil ESG de la empresa. En empaques flexibles, esto puede aplicarse en procesos térmicos, iluminación y climatización.

Huella de Carbono Scope 3: Medir y reducir las emisiones indirectas (Scope 3) —como transporte, proveedores y uso del producto— permite una gestión integral de la sostenibilidad. Es clave para reportes GHG Protocol y certificaciones como Carbon Trust.

Materiales Biodegradables: Incorporar materiales biodegradables en el portafolio permite reducir el impacto ambiental postconsumo, especialmente en mercados donde el compostaje industrial está disponible. Esto incluye PLA, PHA y biopelículas vegetales.

Los indicadores ambientales analizados en esta sección reflejan una transición profunda hacia modelos de producción más responsables, eficientes y alineados con los principios de economía circular. En el sector de empaques flexibles, alcanzar las metas proyectadas para 2030 implica no solo adoptar nuevas tecnologías, sino también rediseñar procesos, materiales y relaciones con proveedores y consumidores.

La sostenibilidad ambiental se convierte así en un diferenciador competitivo, especialmente en mercados internacionales donde las regulaciones son cada vez más estrictas y los consumidores más exigentes. Empresas que logren integrar estos indicadores en su sistema de gestión estarán mejor posicionadas para liderar la transformación del sector, acceder a certificaciones globales y consolidar su reputación como actores responsables y visionarios.

Marco de monitoreo Integrado

Categoría	Peso en Evaluación	Indicadores Críticos	Alertas Tempranas
Tecnológicos	25%	OEE, Patentes, Automatización	OEE < 70%, Downtime > 72h
Comerciales	30%	Market Share, NPS, Rentabilidad	NPS < 60, Ventas < 10%
Ambientales	30%	CO ₂ , Reciclados, Energía	CO ₂ > meta +5%, Residuos > meta
Sociales	15%	Satisfacción, Seguridad, Diversidad	Satisfacción < 70%, Incidentes > 3

Tabla 32: Marco monitoreo integrado, Fuente: Elaboración propia basada en mejores prácticas de la industria de empaques flexibles y estándares ESG internacionales.

Modelo de Valoración Multicriterio para Indicadores Estratégicos en Empaques Flexibles

La tabla anterior presenta una propuesta de valoración de indicadores estratégicos agrupados en cuatro categorías: Tecnológicos, Comerciales, Ambientales y Sociales. Cada categoría incluye un peso relativo en la evaluación total, indicadores críticos y alertas tempranas. Este enfoque permite construir un sistema de monitoreo integral que articula desempeño operativo, impacto ambiental, posicionamiento comercial y gestión humana, alineado con los principios de sostenibilidad y competitividad internacional.

La ponderación se propone desde una óptica de dar un peso de relevancia a cada indicador expuesto anteriormente, tratando de no imponer o dar mayor importancia a uno por encima de los demás, todos son importantes y se deben trabajar de manera conjunta, a continuación, una breve explicación de cada uno de ellos.

Categoría Tecnológica (25%)

Indicadores Críticos: OEE, número de patentes, nivel de automatización.

Alertas Tempranas: OEE < 70%, Downtime > 72h.

La dimensión tecnológica mide la capacidad de innovación, eficiencia operativa y adopción de tecnologías emergentes. El OEE (Overall Equipment Effectiveness) es un estándar global para evaluar la productividad de equipos industriales (Nakajima, 1988).

Las patentes reflejan la capacidad de I+D y protección de propiedad intelectual (OECD, 2019), mientras que la automatización permite escalar operaciones y reducir errores humanos (IFR, 2023).

Las alertas tempranas permiten detectar desviaciones críticas que afectan la continuidad operativa y la competitividad. Un OEE inferior al 70% indica bajo rendimiento, mientras que un tiempo de inactividad superior a 72 horas puede comprometer entregas internacionales.

Categoría Comercial (30%)

Indicadores Críticos: Participación de mercado (MarketShare), NPS (Net Promoter Score), rentabilidad (EBITDA).

Alertas Tempranas: NPS < 60, Ventas < 10%.

Esta categoría evalúa el posicionamiento de la empresa en el mercado, la fidelización de clientes y la eficiencia financiera. El NPS es un indicador reconocido para medir la lealtad del cliente y su disposición a recomendar la marca (Reichheld, 2003). La rentabilidad EBITDA refleja la capacidad de generar valor económico a partir de operaciones eficientes y diferenciadas (Deloitte, 2024).

Las alertas comerciales permiten identificar riesgos de pérdida de clientes o deterioro financiero. Un NPS inferior a 60 sugiere insatisfacción significativa, mientras que ventas por debajo del 10% pueden indicar pérdida de competitividad o fallas en la estrategia comercial.

Categoría Ambiental (30%)

Indicadores Críticos: Reducción de emisiones CO₂, uso de materiales reciclados, consumo energético.

Alertas Tempranas: CO₂ > meta + 5%, reciclados < meta.

La dimensión ambiental es clave para cumplir con normativas internacionales, acceder a mercados regulados y fortalecer la reputación ESG. La reducción de emisiones y el uso de materiales reciclados son pilares de la economía circular (Ellen MacArthur Foundation, 2022). El consumo energético por tonelada producida permite evaluar la eficiencia de los procesos industriales (IEA, 2023).

Las alertas ambientales permiten anticipar incumplimientos regulatorios o retrocesos en sostenibilidad. Superar la meta de emisiones en más de 5% puede generar sanciones o pérdida de certificaciones, mientras que un bajo uso de reciclados compromete la percepción ambiental de la marca.

Categoría Social (15%)

Indicadores Críticos: Satisfacción de empleados, seguridad laboral, diversidad e inclusión.

Alertas Tempranas: Satisfacción < 70%, incidentes > 3.

La dimensión social mide el compromiso de la empresa con su talento humano y su entorno. La satisfacción laboral está directamente relacionada con la productividad y la retención de talento (Harter et al., 2002). La seguridad laboral es esencial en plantas

industriales, donde los riesgos físicos son elevados (ILO, 2023). La diversidad impulsa la innovación y mejora la reputación corporativa (Page, 2007).

Las alertas sociales permiten detectar deterioro en el clima organizacional o riesgos operativos. Una satisfacción inferior al 70% puede indicar desmotivación, mientras que más de tres incidentes de seguridad al año reflejan fallas en la gestión preventiva.

La propuesta de valoración multicriterio presentada en esta sección constituye una herramienta robusta para la evaluación estratégica de empresas del sector de empaques flexibles. Al integrar dimensiones tecnológicas, comerciales, ambientales y sociales, este modelo permite una visión holística del desempeño organizacional, alineada con los principios de sostenibilidad, innovación y competitividad internacional.

La asignación de pesos refleja una priorización coherente con las exigencias del mercado global: la tecnología y el impacto ambiental son motores de diferenciación, mientras que el desempeño comercial y social aseguran la viabilidad y legitimidad del modelo de negocio. Las alertas tempranas actúan como mecanismos de control preventivo, facilitando la toma de decisiones informadas y oportunas.

Este enfoque puede ser adoptado como parte del sistema de gestión estratégica propuesto en esta tesis, integrando los indicadores definidos en capítulos anteriores y fortaleciendo la capacidad de las empresas para adaptarse, innovar y liderar en un entorno global cada vez más complejo y exigente.

Frecuencias de reporte

Diario: OEE, Seguridad, Calidad

Semanal: Producción, Inventarios, Downtime

Mensual: Financieros, Ambientales, Satisfacción

Trimestral: Estratégicos, Innovación, Mercado

Anual: Sostenibilidad, Diversidad, Desarrollo

CONCLUSION

La presente investigación ha permitido construir un marco estratégico integral para el fortalecimiento de la competitividad internacional del sector de empaques flexibles, articulando tecnologías emergentes, indicadores de desempeño y criterios de sostenibilidad en función de los requerimientos de mercados altamente regulados y exigentes como la Unión Europea, Norteamérica y Asia-Pacífico.

En el desarrollo del análisis se ha evidenciado que la transformación del sector no puede abordarse desde una perspectiva unidimensional. Por el contrario, requiere una convergencia entre innovación tecnológica, eficiencia operativa, cumplimiento normativo, sostenibilidad ambiental y gestión del talento humano. Esta visión holística se traduce en la formulación de un programa estratégico que permita a las empresas del sector no solo adaptarse a los cambios del entorno, sino liderar procesos de diferenciación y posicionamiento global.

Recorrido por las Tecnologías Emergentes

El análisis de rutas tecnológicas ha permitido identificar tres grandes líneas de innovación aplicables al sector:

1. Films comestibles y recubrimientos funcionales: tecnologías de base biológica que responden a la demanda de empaques sostenibles y seguros para alimentos. Su adopción permite acceder a nichos de mercado sensibles a la sostenibilidad, como los países nórdicos y Canadá, donde las regulaciones sobre migración química y biodegradabilidad son estrictas (European Commission, 2023).
2. Nanotecnología y empaques inteligentes: soluciones que integran sensores, liberación controlada y propiedades antimicrobianas, orientadas a mejorar la trazabilidad, la conservación y la interacción con el consumidor. Estas tecnologías son especialmente valoradas en Norteamérica y Japón, donde la digitalización de la cadena de suministro es un estándar competitivo (Daim et al., 2023).
3. Reciclaje químico y Mono-materiales compostables: tecnologías que permiten cerrar el ciclo de vida del empaque, facilitando la economía circular y el cumplimiento de normativas como la Ley REP en Colombia y el Reglamento 1935/2004 en la Unión Europea. Su implementación es clave para acceder a certificaciones como FSC, BPI y GFSI, exigidas por retailers globales (UNEP, 2024).

Estas rutas tecnológicas entre otras que pueden no estar expuestas en estos párrafos, no solo representan oportunidades de innovación, sino también desafíos de adopción,

inversión y validación. Por ello, el diseño estratégico propuesto incorpora mecanismos de evaluación tecnológica, alianzas con startups, y programas de formación técnica para acelerar la curva de implementación.

Mercados Objetivo: Unión Europea, Norteamérica y Asia-Pacífico

La selección de estos tres bloques geoeconómicos responde a su relevancia en el comercio internacional de empaques flexibles, su nivel de exigencia normativa y su orientación hacia la sostenibilidad y la innovación.

- Unión Europea: destaca por su marco regulatorio ambiental, su impulso a la economía circular y su preferencia por materiales certificados. La entrada a este mercado requiere empaques compostables, trazabilidad completa y cumplimiento de normativas como REACH y EC 1935/2004 (European Commission, 2023) y Reglamento (UE) 2025/40 sobre envases y residuos de envases.
- Norteamérica: combina exigencias técnicas con oportunidades de escalabilidad. La FDA y el USDA regulan los materiales en contacto con alimentos, mientras que el consumidor valora la funcionalidad, la personalización y la transparencia. Las tecnologías de impresión digital, sensores y blockchain son altamente valoradas (FDA, 2024).
- Asia-Pacífico: representa un mercado dinámico, con alta demanda de empaques para e-commerce, cosméticos y alimentos funcionales. Países como Japón y Corea del Sur lideran en empaques inteligentes, mientras que China

impulsa la adopción de materiales biodegradables en respuesta a sus políticas de reducción de plásticos (Smithers Pira, 2024).

El diseño estratégico incorpora una matriz de alineación entre tecnologías, certificaciones y mercados destino, permitiendo a las empresas priorizar inversiones y adaptar sus portafolios según las exigencias específicas de cada región.

Importancia de los Indicadores Estratégicos

La implementación de indicadores de desempeño ha sido clave para operacionalizar el diseño estratégico. Se han definido indicadores en cinco dimensiones:

- Tecnológica: OEE, automatización, patentes.
- Comercial: participación de mercado, NPS, rentabilidad.
- Ambiental: emisiones CO₂, reciclabilidad, consumo energético.
- Social: satisfacción laboral, seguridad, diversidad.
- Organizacional: capacitación, rotación, desarrollo profesional.

Estos indicadores permiten construir un sistema de gestión basado en evidencia, facilitando el monitoreo, la mejora continua y la toma de decisiones informadas. Además, se han establecido metas proyectadas para 2026, 2028 y 2030, alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y los criterios ESG exigidos por inversionistas y compradores internacionales (UN Global Compact, 2023).

La incorporación de alertas tempranas y pesos relativos en la evaluación multicriterio fortalece la capacidad de respuesta ante desviaciones críticas, asegurando la resiliencia del modelo estratégico.

Construyendo un Programa Estratégico para la Ventaja Competitiva Sostenible

La integración de tecnologías emergentes, mercados objetivo e indicadores estratégicos permite formular un Programa Estratégico para el Sector de Empaques Flexibles, orientado a:

- Acelerar la adopción de tecnologías sostenibles y funcionales.
- Fortalecer la capacidad de innovación y diferenciación.
- Cumplir con normativas internacionales y certificaciones clave.
- Mejorar la eficiencia operativa y la trazabilidad.
- Consolidar una cultura organizacional basada en talento, equidad y sostenibilidad.

Este programa puede ser implementado mediante fases progresivas, y lo expuesto a lo largo del desarrollo de los objetivos no solo representa el cierre argumentativo de esta tesis, sino también la apertura de una nueva etapa para el sector de empaques flexibles en Colombia y América Latina. A través del análisis riguroso de tecnologías emergentes, mercados internacionales, indicadores estratégicos y criterios de sostenibilidad, se ha construido un marco de acción que trasciende el diagnóstico y propone soluciones concretas, escalables y alineadas con las exigencias globales.

El diseño estratégico aquí formulado no es una propuesta teórica aislada, sino una plataforma de transformación que puede ser adoptada por empresas, gremios, centros de investigación y entidades gubernamentales para impulsar la competitividad internacional del sector. La articulación entre innovación, sostenibilidad, eficiencia operativa y gestión humana permite construir una ventaja competitiva sostenible, capaz de posicionar a los empaques flexibles como protagonistas de la transición hacia una economía circular, digital y responsable.

Esta tesis no busca cerrar una conversación, sino abrir un camino. El diseño estratégico aquí propuesto es una invitación a pensar en grande, a actuar con visión y a construir colectivamente un futuro donde los empaques no sean solo contenedores, sino vehículos de valor, sostenibilidad y competitividad.

La transformación está al alcance. Lo que sigue depende de la voluntad de innovar, de colaborar y de liderar. Si lo puedes imaginar un empaque, lo puedes crear y si lo creas que sea memorable, que contribuya y permita que te recuerden en el mercado.

PRODUCTOS DE NUEVO CONOCIMIENTO

Como resultado del proyecto de investigación se han generado productos de nuevo conocimiento que fortalecen la producción académica y la proyección de la investigación en el campo de la innovación y la sostenibilidad en empaques flexibles.

En primer lugar, el marco teórico desarrollado a partir de la revisión sistemática de literatura será presentado como un artículo de revisión a la revista Innovar de la Universidad Nacional de Colombia. Dicho manuscrito se encuentra en proceso de ajuste final y será sometido a publicación una vez se complete el trámite de aprobación institucional correspondiente

En segundo lugar, se presentó la ponencia titulada “Roadmap tecnológico para la adopción de innovaciones emergentes en empaques flexibles de alimentos”, en el Encuentro Internacional de Investigadores en Administración 2024, realizado de manera conjunta entre la Universidad del Valle y la Universidad Externado de Colombia, los días 26 y 27 de noviembre de 2024 en la ciudad de Bogotá.

De esta manera, los productos generados reflejan la consolidación de una base teórica, susceptible de difusión en revistas indexadas, como la socialización temprana de resultados a través de espacios académicos, contribuyendo a la visibilidad del trabajo investigativo (ver anexo 1).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOPLÁSTICOS. (2024). Informe técnico de reciclaje y economía circular 2023–2024. <https://www.acoplasticos.org>
- ACOSTA-MEDINA, J.K., CONTRERAS-PACHECO, O.E., PEDRAZA-AVELLA, A.C.,
Empaques vs bioempaques para alimentos: una comparación a nivel técnica,
comercial y normativa. *Ingeniería y Competitividad*, 2023, 25(3); e-21213066.doi:
10.25100/iyc.v25i3.13066
- ADMINISTRACIÓN DE ALIMENTOS Y MEDICAMENTOS DE EE. UU. (2024). Envases
de alimentos y sustancias en contacto con alimentos . <https://www.fda.gov>
- AGENDA APD. (2020). Proceso de internacionalización de empresas: ¿Cómo
internacionalizar tu compañía? <https://www.apd.es/proceso-de-internacionalizacion-empresas/>
- AHMADZADEH, S., NASIRPOUR, A., KERAMAT, J., HAMDAMI, N., BEHZAD, T., &
DESOBRY, S. (2015). Nanoporous cellulose nanocomposite foams as high
insulated food packaging materials. *Colloids And Surfaces A: Physicochemical And
Engineering Aspects*, 468, 201-210. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2014.12.037>
- AMCOR. (2023). Sustainable packaging solutions. <https://www.amcor.com/sustainability>
- ANDI. (2024). Visión Circular 2024. <https://www.andi.com.co>
- ANDI. (2024). Visión Circular: Avances y proyecciones 2025. <https://www.andi.com.co>
- ANLA (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales). (2022). Ley 2232 de 2022:
Medidas para la reducción de plásticos de un solo uso en Colombia. ANLA.
<https://www.anla.gov.co>
- ANLA (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales). (2022). Ley 2232 de 2022:
Medidas para la reducción de plásticos de un solo uso en Colombia. ANLA.
<https://www.anla.gov.co>
- AYASTA, ET AL. (2021). TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE MAGÍSTER EN. peru.
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/21082/Plane>

amiento%20Estrat%C3%A9gico%20de%20la%20empresa%20Polybags%20Per
%C3%BA%20S.R.L.%20-%20AYASTA.pdf?sequence=1

AYASTA, J., ET AL. (2021). Estrategias innovadoras para la internacionalización de

AZNAR, M. P. M., ALFARO, P., NERÍN, C., JONES, E. A., & RICHES, E. (2016). Progress in mass spectrometry for the analysis of set-off phenomena in plastic food packaging materials. *Journal Of Chromatography A*, 1453, 124-133. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2016.05.032>

AZNAR, M. P. M., DOMEÑO, C., NERÍN, C., & BOSETTI, O. (2015). Set-off of non volatile compounds from printing inks in food packaging materials and the role of lacquers to avoid migration. *Dyes And Pigments*, 114, 85-92. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2014.10.019>

BANCO MUNDIAL. (2025). Crecimiento del PIB (% anual) Colombia. <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.KD.ZG?locations=CO>

BANCO MUNDIAL. (2025, abril 23). Colombia: panorama general. <https://www.bancomundial.org/es/country/colombia/overview>

BARNEY, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99–120.

BARNEY, J. (1991). Recursos de la empresa y ventaja competitiva sostenida.

BATTINI, D., PERSONA, A., & SGARBOSSA, F. (2016). Sustainability of packaging systems for food supply chains: A literature review. *International Journal of Production Economics*, 181, 86–98.

BERRY GLOBAL INC. (2023). Innovations in flexible packaging. <https://www.berryglobal.com/en/solutions/markets/packaging>

BILOHAN, M., RAMOS, A., DOMINGUES, F., & LUÍS, Â. (2022). Production and characterization of pullulan/paper/zein laminates as active food packaging materials. *Journal Of Food Processing And Preservation*, 46(11). <https://doi.org/10.1111/jfpp.17083>

- BIOPLÁSTICOS EUROPEOS. (2022). Actualización del desarrollo del mercado de bioplásticos 2022 .
- BISCARAT, J., CHARMETTE, C., SÁNCHEZ, J., & POCHAT-BOHATIER, C. (2014). Development of a new family of food packaging bioplastics from cross-linked gelatin based película. The Canadian Journal Of Chemical Engineering, 93(2), 176-182. <https://doi.org/10.1002/cjce.22077>
- BORJA Y RAMIREZ. (2018). I plan de negocio para la creación de la empresa ThermoplasticS.A.S. https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10326/Borja_Ramirez_2016.pdf?sequence=1
- BRITISH RETAIL CONSORTIUM. (2022). BRC Global Standard for Packaging Materials, Issue 6. <https://www.brcgs.com>
- BUGNICOURT, E., SCHMID, M., NERNEY, O. M., WILDNER, J., SMYKALA, L., LAZZERI, A., & CINELLI, P. (2013). Processing and Validation of Whey-Protein-Coated Película and Laminates at Semi-Industrial Scale as Novel Recyclable Food Packaging Materials with Excellent Barrier Properties. Advances In Materials Science And Engineering, 2013, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2013/496207>
- CALDERON. (2017). ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA ESTRATEGIA. <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/94728/CALDER%20N%20An%20A1lisis%20y%20dise%20B1o%20de%20la%20estrategia%20de%20internacionalizaci%20B3n%20para%20Induplas%20S.A.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CAVUSGIL, ST, KNIGHT, G., RIESENBERGER, JR, RAMMAL, HG Y ROSE, EL (2021). Negocios Internacionales (3.ª ed.). Pearson.
- CEPAL. (2021). La transición justa en América Latina. <https://www.cepal.org>
- CHENG, M., WANG, J., ZHANG, R., KONG, R., LU, W., & WANG, X. (2019). Characterization and application of the microencapsulated carvacrol/sodium

- alginate película as food packaging materials. International Journal Of Biological Macromolecules, 141, 259-267. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.215>
- CHESBROUGH, H. (2003). Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology.
- CHESBROUGH, H. (2011). Open Services Innovation. Jossey-Bass.
- CHESBROUGH, H. (2020). Innovación abierta: El nuevo imperativo para crear y
- CHRISTOPHER, M. (2016). Logistics & Supply Chain Management. Pearson Education.
- COMISIÓN EUROPEA. (2023). Plan de Acción para la Economía Circular. <https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/>
- COMISIÓN EUROPEA. (2023). Reglamento sobre envases y residuos de envases .
- COMUNICACIONES FLEXO SPRING. (2023). Innovación, una de las claves para lograr empaques más sostenibles. <https://flexospring.com.co/innovacion-una-de-las-claves-para-lograr-empaques-mas-sostenibles/>
- CONGRESO DE COLOMBIA. (2022). Ley 2232 de 2022. <https://www.suin-juriscol.gov.co>
- CONSTANTIA FLEXIBLES. (2023). EcoLam: recyclable flexible packaging. <https://www.cflex.com/products/ecolam>
- CONSTANTIA FLEXIBLES. (2023). EcoLam: recyclable flexible packaging. <https://www.cflex.com/products/ecolam>
- DAIM, T. U., ET AL. (2023). Technology Roadmapping and Development: A Methodology for Planning and Forecasting.
- DANE. (2025). Índice de Precios al Consumidor (IPC) e información histórica. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-precios-al-consumidor-ipc/ipc-historico>
- DANE. (2025). Pobreza monetaria. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/pobreza-y-condiciones-de-vida/pobreza-monetaria>

- DANE. (2025). Pobreza multidimensional. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/pobreza-y-condiciones-de-vida/pobreza-multidimensional>
- DANE. (2025). Pobreza y desigualdad. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/pobreza-y-condiciones-de-vida/pobreza-y-desigualdad>
- DANNA, K., & GRIFFIN, R. W. (1999). Health and well-being in the workplace: A review and synthesis of the literature. *Journal of Management*, 25(3), 357–384.
- DATA BRIDGE MARKET RESEARCH (2022). Mercado mundial de envases flexibles: tendencias de la industria y pronóstico hasta 2030. <https://www.databridgemarketresearch.com/es/reports/global-flexible-packaging-market>
- DATA BRIDGE MARKET RESEARCH. (2022). Global Flexible Packaging Market Trends and Forecast to 2030.
- DATOSMACRO. (2025). IPC de Colombia 2025 y PIB de Colombia 2025. <https://datosmacro.expansion.com/ipc-paises/colombia> y <https://datosmacro.expansion.com/pib/colombia>
- De Oliveira Valério, K. G., Da Silva, C. E. S., & Neves, S. M. (2020). Overview on the technology roadmapping (TRM) literature: gaps and perspectives. *Technology Analysis And Strategic Management*, 33(1), 58-69. <https://doi.org/10.1080/09537325.2020.17879760>
- DELGADO. (2012). Administración Estratégica. Un Enfoque Metodológico. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642020000100133#B8
- DELOITTE. (2022). Smart manufacturing and IoT integration in packaging industries
- DELOITTE. (2024). Perspectivas de la industria del embalaje para 2024. Deloitte Insights. <https://www2.deloitte.com>
- DELOITTE. (2024). Profitability Drivers in Sustainable Packaging Industries.

- DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (DANE). (2025). Estadísticas oficiales de Colombia. <https://www.dane.gov.co/>
- DUDU, T. E. (2022). Novel dimethylacrylamide/gelatin/rosehip based smart hydrogels as a color sensor in food packaging materials. *Asia-Pacific Journal Of Chemical Engineering*, 18(1). <https://doi.org/10.1002/apj.2868>
- DUNNING, JH (1988). El paradigma ecléctico de la producción internacional: Una reformulación y algunas posibles extensiones. *Journal of International Business Studies* , 19(1), 1-31. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jibs.8490372>
- DURAN, A., TÜZEN, M., & SOYLAK, M. (2013). Evaluation of Metal Concentrations in Food Packaging Materials: Relation to Human Health. *Atomic Spectroscopy*, 34(3), 99-103. <https://doi.org/10.46770/as.2013.03.004>
- EL EMPAQUE. (2020). El futuro del empaque: tendencias para el 2020. <https://www.elempaque.com/temas/El-futuro-del-empaque,-tendencias-para-el-2020+132621>
- EL EMPAQUE. (2022, noviembre 30). Industria de empaques en Colombia: en busca de la sostenibilidad. <https://www.elempaque.com/es/noticias/industria-de-empaquen-colombia-en-busca-de-la-sostenibilida>
- EL TIEMPO. (2024). Cómo va Colombia con la eliminación de plásticos de un solo uso. <https://www.eltiempo.com>
- ELISA DE MARCHI, GIULIO SCAPPATICCI, ALESSANDRO BANTERLE, CRISTINA ALAMPRESE, ¿(2024) What is the role of environmental sustainability knowledge in food choices? A case study on egg consumers in Italy, *Journal of Cleaner Production*, Volume 441, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141038>
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. (2019). Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change. <https://ellenmacarthurfoundation.org>
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. (2022). Circular Economy in Packaging.

- ELSAEED, S., ZAKI, E. G., DIAB, A. A., TAREK, M., & OMAR, W. A. E. (2023). New polyvinyl alcohol/gellan gum-based bioplastics with guava and chickpea extracts for food packaging. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49756-0>
- EN 50 MINUTOS. EDIT. Titivillus. Traducción: Marta Sánchez Hidalgo. <https://www.studocu.com/co/document/fundacion-universitaria-del-area-andina/administracion-de-empresas/el-analisis-pestel-guillaume-steffens-z-lib/31238859>
- ENVASADOS A TERCEROS. (28 de Noviembre de 2022). Envasados a Terceros. <https://www.envasados.es/la-industria-del-envase-flexible-crece-un-58-cada-ano/>
- ETZKOWITZ, H., & LEYDESDORFF, L. (2000). The dynamics of innovation: From National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university–industry–government relations
- ETZKOWITZ, H., Y LEYDESDORFF, L. (2000). La dinámica de la innovación: de los sistemas nacionales y el «Modo 2» a una triple hélice de relaciones universidad-industria-gobierno. *Research Policy*, 29(2), 109-123. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00055-4](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00055-4)
- EUROMONITOR (2023) Top Four Trends Shaping Global Consumer Packaging. <https://www.euromonitor.com/top-four-trends-shaping-global-consumer-packaging/report>
- EUROMONITOR INTERNATIONAL. (2023). Packaging Industry Performance Review.
- EUROMONITOR INTERNATIONAL. (2024). Packaging Industry Trends and Workforce Transformation.
- EUROPEAN COMMISSION. (2020). A new Circular Economy Action Plan. <https://ec.europa.eu>
- EUROPEAN COMMISSION. (2023). EU strategy for plastics in a circular economy. European Union. https://environment.ec.europa.eu/topics/plastics_en

- EUROPEAN COMMISSION. (2023). EU strategy for plastics in a circular economy. European Union. https://environment.ec.europa.eu/topics/plastics_en
- EUROPEAN COMMISSION. (2023). Regulation (EC) No 1935/2004.
- EUROPEAN COMMISSION. (2023). Regulation on Packaging and Packaging Waste.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. (2004). EN 13430: Packaging — Requirements for packaging recoverable by material recycling. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/9797a742-b4e5-496b-a5db-0c48d33c9b61/en-13430-2004>
- FAHEY, L., Y & NARAYANAN, V. K. (1986). Macroenvironmental analysis for strategic management [Análisis macro-ambiental en gestión estratégica]. West Publishing. The West Series in Strategic Management.
- FAO. (2023). El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2023. Roma, FAO. <https://openknowledge.fao.org>
- FDA. (2024). CFR Title 21 – Food Contact Substances.
- FISCHER, L Y ESPEJO, J. (2011). Mercadotecnia. Distrito Federal, México: McGrawHill.
- FLEXIBLE PACKAGING ASSOCIATION. (2024). Sustainability metrics and performance indicators for flexible packaging. Retrieved from <https://www.flexpack.org>
- FOOD PACKAGING FORUM. (2023). Safety standards for packaging materials.
- FORBES CENTROAMÉRICA. (2024). Así crece la tendencia de alianzas entre startups, empresas y universidades. <https://forbescentroamerica.com/2024/01/12/asi-crece-la-tendencia-de-alianzas-entre-startups-empresas-y-universidades>
- FORBES COLOMBIA. (2025). Industria plástica ha invertido US 150 millones en reciclaje. <https://forbes.co>
- FORO ECONÓMICO MUNDIAL (2023). Blockchain para cadenas de suministro . <https://www.weforum.org/agenda/2023/01/blockchain-supply-chain/>
- FOUNDATION FSSC. (2023). FSSC 22000 Scheme Version 6.

- FRANZ, R., & WELLE, F. (2022). Recycling of Post-Consumer Packaging Materials into New Food Packaging Applications—Critical Review of the European Approach and Future Perspectives. *Sustainability*, 14(2), 824. <https://doi.org/10.3390/su14020824>
- FRANZ, R., Y WELLE, F. (2022). Tendencias en envases alimentarios compostables. *Journal of Packaging Technology* , 5(1), 14-28.
- FUNCIÓN PÚBLICA. (2023). Decreto 2192 de 2023: Implementación de medidas para la gestión y reducción de plásticos de un solo uso. Función Pública. <https://www.funcionpublica.gov.co>
- FUNDACIÓN ELLEN MACARTHUR. (2023). Economía circular en detalle . <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>
- GAYATHRI, D., SOUNDARYA, R. Y PRASHANTKUMAR, CS (2024). Diversas facetas de la nanotecnología en el procesamiento de alimentos. *International Journal of Functional Nutrition*, 4 (1).
- GHG PROTOCOL. (2023). Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard.
- GLOBAL FOOD SAFETY INITIATIVE (GFSI). (2024). Benchmarking Requirements."
- GLOBAL STANDARDS. (2018). FSSC 22000 y los empaques. <https://www.globalstd.com/blog/fssc-22000-y-los-empaques/>
- GLOBAL STANDARDS. (2024). Certificación FSSC 22000 Reconocida por GFSI. <https://www.globalstd.com/certificacion/fssc-22000>
- GOBIERNO DE CANADÁ. (2024). Requisitos de etiquetado de alimentos . Agencia Canadiense de Inspección de Alimentos (ACIA). <https://inspection.canada.ca>
- GRAND VIEW RESEARCH. (2024). Flexible packaging market size, share & trends analysis report 2024-2030. Retrieved from <https://www.grandviewresearch.com>

- GRAND VIEW RESEARCH. (2025). Informe de análisis del tamaño, la participación y las tendencias del mercado de envases a base de almidón.
- GS1. (2023). RFID y códigos de barras en la cadena de suministro .
<https://www.gs1.org/standards/rfid>
- HARTER, J. K., SCHMIDT, F. L., & HAYES, T. L. (2002). Business-unit-level relationship between employee satisfaction, employee engagement, and business outcomes. *Journal of Applied Psychology*, 87(2), 268–279.
- HASANIN, M. S., ABDELHAMEED, R. M., ABBAS, H. A., & IBRAHIM, S. (2023). Photocatalytic degradation of hazard migrated compound from food packaging materials using antimicrobial strontium titanate incorporated cellulose acetate. *Journal Of Photochemistry And Photobiology A: Chemistry*, 447, 115223.
<https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2023.115223>
- HASSANI, F. S. A., SALIM, M. H., KASSAB, Z., SEHAQUI, H., ABLOUH, E., BOUHFID, R., QAISS, A. E. K., & ACHABY, M. E. (2022). Crosslinked starch-coated cellulosic papers as alternative food-packaging materials. *RSC Advances*, 12(14), 8536-8546. <https://doi.org/10.1039/d2ra00536k>
- HAUSKNECHT, J. P., RODDA, J., & HOWARD, M. J. (2009). Targeted employee retention: Performance-based and job-related differences in reported reasons for staying. *Human Resource Management*, 48(2), 269–288.
- HEALTH CANADA. (2023). Guidelines for Packaging Materials in Food Applications.
- HERNANDEZ. (2008). Metodología de la Investigación.
https://www.google.com/search?q=metodo+descriptivo+segun+sampieri&sca_esv=35d530e58229d8b1&sca_upv=1&rlz=1C1CHBF_esCO975CO975&sxsrf=ACQVn08CPjHnk-qlNzaE9IhvGXzPzFKuwQ%3A1705611126961&ei=do-pZdCcOq3skvQPsb-SiAM&oq=metodo+descriptivo+segun+samoueri+&gs_lp=E
- HITT, MA, IRELAND, RD, Y HOSKISSON, RE (2020). Gestión estratégica: conceptos y casos: competitividad y globalización (13.^a ed.). Cengage Learning.

- HUANG, Y., MEI, L., CHEN, X., & WANG, Q. (2018). Recent Developments in Food Packaging Based on Nanomaterials. *Nanomaterials* (Basel), 8(10), 830. <https://doi.org/10.3390/nano8100830>
- IBARRA, C., AZNAR, M. P. M., NERÍN, C., & BOSETTI, O. (2016). Migration from printing inks in multilayer food packaging materials by GC-MS analysis and pattern recognition with chemometrics. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 1-12. <https://doi.org/10.1080/19440049.2016.1155757>
- IEA. (2023). *Energy Efficiency in Manufacturing*.
- INFORME DE EXPERTOS (2024). *Análisis de Mercado de Cosméticos en Colombia*. <https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-de-cosmeticos-en-colombia>
- INFORMES DE MERCADO VERIFICADOS. (2025). *Perspectivas del mercado de óxido de zinc nanoactivo en Asia-Pacífico 2024-2033*.
- INICIATIVA DE REPORTE GLOBAL (GRI). (2021). *Estándares GRI* . <https://www.globalreporting.org/>
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). (2025). *Informe de deforestación 2025*. <https://www.ideam.gov.co/>
- INSTITUTO NACIONAL DE CONTADORES PÚBLICOS. (2015). *El análisis PEST, una herramienta para formular tu estrategia*. Recuperado el 20 de octubre de 2019, de <https://www.incp.org.co/el-analisis-pest-una-herramienta-para-planificar-tu-estrategia/>
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). (2023). *Energy Efficiency in Manufacturing*.
- INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS (IFR). (2023). *World Robotics Report*.
- INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION (ILO). (2023). *Safety and Health at Work: A Vision for Sustainable Workplaces*.

- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. (2015). ISO 14001:2015 Environmental management systems — Requirements with guidance for use. <https://www.iso.org/standard/60857.html>
- IPCC. (2023). Climate Change 2023: Mitigation of Climate Change.
- IRENA. (2023). Renewable Energy in Industrial Applications.
- ISO 9001. (2015). Normas ISO. https://www.google.com/search?q=Accion+de+mejora++segun+autores&sca_esv=acb7b046794402c9&rlz=1C1CHBF_esCO975CO975&sxsrf=ACQVn0qj5UKzGMdT136xyuZMZB65MUd_w%3A1710362155827&ei=Kw7yZaeNMsykvQPhvCKiAc&ved=0ahUKEwjnzvDFi_KEAxVMmYQIHQa4AnEQ4dUDCBA&uact=5&oq=Ac
- ISO 9001. (2015). Normas ISO. <https://www.iso.org>
- KAGERMANN, H. (2021). Industria 4.0 en un contexto global: Estrategias para la cooperación con socios internacionales. Springer .
- KARMAUS, A. L., OSBORN, R., & KRISHAN, M. (2018). Scientific advances and challenges in safety evaluation of food packaging materials: Workshop proceedings. Regulatory Toxicology And Pharmacology, 98, 80-87. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2018.07.017>
- KOTLER, P., & KELLER, K. L. (2016). Marketing Management (15th ed.). Pearson.
- LA REPÚBLICA. (2024). En Colombia se logra reciclar 16% de los residuos. <https://www.larepublica.co>
- LAMSAF, H., BALLESTEROS, L. F., CERQUEIRA, M. A., TEIXEIRA, J. A., PASTRANA, L., REBOUTA, L., CARVALHO, S., & CALDERÓN, S. (2022). Zn and Zn-Fe Nanostructures with Multifunctional Properties as Components for Food Packaging Materials. Nanomaterials, 12(12), 2104. <https://doi.org/10.3390/nano12122104>
- Li, C., Liu, J., Li, W., Liu, Z., Yang, X., Liang, B., Huang, Z., Qiu, X., Li, X., Huang, K., & Zhang, X. (2023). Biobased Intelligent Food-Packaging Materials with Sustained-

- Release Antibacterial and Real-Time Monitoring Ability. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 15(31), 37966-37975. <https://doi.org/10.1021/acsami.3c09709>
- Liu, R., & Mabury, S. A. (2019). Identification of Photoinitiators, Including Novel Phosphine Oxides, and Their Transformation Products in Food Packaging Materials and Indoor Dust in Canada. *Environmental Science & Technology*, 53(8), 4109-4118. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b00045>
- London, M. (2014). *The Power of Feedback: Giving, Seeking, and Using Feedback for Performance Improvement*. Routledge.
- Lu, Z., Hasselström, L., Finnveden, G. y Johansson, N. (2022). Análisis coste-beneficio de dos posibles sistemas de depósito y devolución para la reutilización y el reciclaje de envases de plástico en Suecia. *Sistemas de Residuos Más Limpios*, 3, 100048. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2022.100048>
- MADS. (2024). Resolución 0803 de 2024. <https://www.minambiente.gov.co>
- Malagurski, I., Lević, S., Nešić, A., Mitrić, M., Pavlović, V., & Dimitrijević-Branković, S. (2017b). Mineralized agar-based nanocomposite película: Potential food packaging materials with antimicrobial properties. *Carbohydrate Polymers*, 175, 55-62. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.07.064>
- Marsh, K., & Bugusu, B. (2007). Food packaging—roles, materials, and environmental issues. *Journal of Food Science*, 72(3), R39–R55.
- McKinsey & Company. (2021). *Innovation in a crisis: Why it is more critical than ever*.
- McKinsey & Company. (2021). *The future of industrial maintenance: Predictive, proactive, and data-driven.**
- McKinsey & Company. (2023). *Supply Chain 4.0: Navigating the Future of Logistics*.
- McKinsey & Company. (2024). *The future of packaging: From linear to circular*. Retrieved from <https://www.mckinsey.com>
- Miao, Z., Zhang, Y., & Lu, P. (2021). Novel active starch película incorporating tea polyphenols-loaded porous starch as food packaging materials. *International*

Journal Of Biological Macromolecules, 192, 1123-1133.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.09.214>

Minipak. (2023). Las inversiones en capacidad son solo la punta del iceberg para Minipak, ya que muestra calidad y competitividad en la industria de envases flexibles. Cali. <https://www.bobst.com/uyes/noticias/detalles/article/1688475602-las-inversiones-en-capacidad-son-solo-la-punta-del-iceberg-para-minipak-ya-que-muestra-calidad-y-competitividad-en-la-industria-de-envases-flexibles/#:~:text=Minipak%20ha%20experimentado%20un>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018, agosto 5). Minambiente reglamenta la gestión de residuos de envases y empaques en Colombia. <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/4085-minambiente-reglamenta-la-gestion-de-residuos-de-envases-y-empaques-en-colombia>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2024). Resolución 0803 de 2024: Directrices sobre eliminación de plásticos de un solo uso. Minambiente. <https://www.minambiente.gov.co>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2024). Resolución 0803: Implementación de la Ley REP.

Ministerio de Ambiente. (2024). Resolución 0803 de 2024. <https://www.minambiente.gov.co>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2012). Resolución 683 de 2012. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-0683-de-2012.pdf>

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC). (2025). Informe de conectividad 2025. <https://mintic.gov.co/>

Moalla, S., Ammar, I. B., Fauconnier, M., Danthine, S., Blecker, C., Besbes, S., & Attia, H. (2021). Development and characterization of chitosan película carrying *Artemisia campestris* antioxidants for potential use as active food packaging

- materials. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 183, 254-266.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.04.113>
- Mordor Intelligence. (2024). Global flexible packaging market.
<https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/flexible-packaging-market>
- Mordor Intelligence. (2024). Mercado de envases flexibles: crecimiento, tendencias, impacto de la COVID-19 y previsiones (2024-2029) .
<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/flexible-packaging-market>
- Mordor Intelligence. (2024). Mercado norteamericano de embalajes inteligentes: crecimiento, tendencias y previsiones (2024-2029) .
<https://www.mordorintelligence.com>
- Mordor Intelligence. (2024). Tamaño del mercado de envases flexibles y análisis de participación tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029)
- Mordor Intelligence. (2025). Análisis del tamaño y la participación del mercado de envases de impresión digital: tendencias de crecimiento y previsiones (2025-2030).
- Motelică, L., Fica, D., Fica, A., Oprea, O., Kaya, D., & Andronescu, E. (2020). Biodegradable Antimicrobial Food Packaging: Trends and Perspectives. *Foods*, 9(10), 1438. <https://doi.org/10.3390/foods9101438>
- Mustafa, P., Niazi, M. B. K., Jahan, Z., Samin, G., Hussain, A., Ahmed, T., & Naqvi, S. R. (2019). PVA/starch/propolis/anthocyanins rosemary extract composite película as active and intelligent food packaging materials. *Journal Of Food Safety*, 40(1).
<https://doi.org/10.1111/jfs.12725>
- Najwa, I. N. A., Yusoff, M. M., & Hanani, Z. N. (2020). Potential of Silver-Kaolin in Gelatin Composite Película as Active Food Packaging Materials. *Food Packaging And Shelf Life*, 26, 100564. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100564>
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Productivity Press

- Navasingh, R. J. H., Gurunathan, M. K., Nikolova, M. P., & Królczyk, J. B. (2023). Sustainable Bioplastics for Food Packaging Produced from Renewable Natural Sources. *Polymers*, 15(18), 3760. <https://doi.org/10.3390/polym15183760>
- Navikaitė-Šnipaitienė, V., Ivanauskas, L., Jakštas, V., Rüegg, N., Rutkaitė, R., Wolfram, E., & Yildirim, S. (2018). Development of antioxidant food packaging materials containing eugenol for extending display life of fresh beef. *Meat Science*, 145, 9-15. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.05.015>
- NielsenIQ. (2022). Consumers and Sustainability: Global Insights. <https://nielseniq.com>
- Nilsen-Nygaard J, Fernández EN, Radusin T, Rotabakk BT, Sarfraz J, Sharmin N, et al. Current status of biobased and biodegradable food packaging materials: Impact on food quality and effect of innovative processing technologies. *Compr Rev Food Sci Food Saf*. 2021 Mar 6;20(2):1333–80.
- OCDE. (2022). Finanzas e inversión sostenibles. Publicaciones de la OCDE. <https://www.oecd.org/finance/sustainable-finance.htm>
- OCDE. (2022). Perspectivas mundiales del plástico: escenarios de políticas hasta 2060. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos.
- OECD. (2019). Measuring innovation in packaging: Patent-based indicators.
- OECD. (2023). Skills for a Green Transition: Workforce Development in Sustainable Industries.
- OMPI. (2024). Mapeo de las innovaciones: Las patentes y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. Organización Mundial de la Propiedad Intelectual. <https://www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=4716>
- Organización Mundial del Comercio (2024). Comercio e inclusión: Cómo lograr que el comercio beneficie a todos. <https://www.wto.org>
- Osório, J., Aznar, M. P. M., NeríN, C., Elliott, C. T., & Chevallier, O. (2021). Comparison of LC-ESI, DART, and ASAP for the analysis of oligomers migration from biopolymer food packaging materials in food (simulants). *Analytical And*

Bioanalytical Chemistry, 414(3), 1335-1345. <https://doi.org/10.1007/s00216-021-03755-0>

Pack, E. C., Lee, K. Y., Jung, J. S., Jang, D. Y., Kim, H. S., Koo, Y. J., Lee, H. G., Kim, Y. S., Lim, K. M., Lee, S. H., & Choi, D. W. (2021). Determination of the migration of plastic additives and non-intentionally added substances into food simulants and the assessment of health risks from convenience food packaging. *Food Packaging And Shelf Life*, 30, 100736. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100736>

Packaging World. (2024). Key performance indicators for packaging operations. Retrieved from <https://www.packworld.com>

Page, S. E. (2007). *The Difference: How the Power of Diversity Creates Better Groups, Firms, Schools, and Societies*. Princeton University Press.

Parlamento Europeo. (2023). Directiva (UE) 2023/412 relativa a los envases y residuos de envases .

Pawlowski, S. D. (2004). The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications. *Information & Management*, 42(1), 15-29. <https://doi.org/10.1016/j.im.2003.11.002>

PEC 2022. (2022), Plásticos En Colombia- Informe 2022, <https://acoplasticos.org/DirectorioColombiano/2022/PEC-2022/42/>

Pereira, V. A., De Arruda, I. N. Q., & Stefani, R. (2015). Active chitosan/PVA película with anthocyanins from *Brassica oleraceae* (Red Cabbage) as Time–Temperature Indicators for application in intelligent food packaging. *Food Hydrocolloids*, 43, 180-188. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.05.014>

Pérez-Bassart, Z., Reyes, A., Martínez-Abad, A., López-Rubio, A., & Fabra, M. J. (2023). Feasibility of *Agaricus bisporus* waste biomass to develop biodegradable food packaging materials. *Food Hydrocolloids*, 142, 108861. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108861>

- Phaal, R., Farrukh, C. J., & Probert, D. R. (2003). Technology roadmapping—A planning framework for evolution and revolution. *Technological Forecasting And Social Change*, 71(1-2), 5-26. [https://doi.org/10.1016/s0040-1625\(03\)00072-6](https://doi.org/10.1016/s0040-1625(03)00072-6)
- PlasticsEurope. (2023). Plásticos: datos 2023: Análisis de los datos más recientes sobre producción, demanda y residuos de plásticos en Europa .
- PMMI – Asociación de Tecnologías de Envasado y Procesamiento. (2023). Tendencias en envasado y procesamiento 2023. PMMI Media Group.
- PNUMA (2024). Iniciativas globales para la reducción de la contaminación por plásticos. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. <https://www.unep.org/resources/plastic-pollution-report>
- Portafolio. (2020). Colombia genera 12 millones de toneladas de basura al año. <https://www.portafolio.co>
- Porter, M. E., & Kramer, M. R. (2011). Creating Shared Value. *Harvard Business Review*, 89(1/2), 62–77.
- Porter, ME, y Kramer, MR (2019). Creación de valor compartido. *Harvard Business Review* , 89(1/2), 62-77.
- PwC. (2023). Global Innovation Survey: Strategic Partnerships in Emerging Technologies.
- Raheem, D. (2013). Application of plastics and paper as food packaging materials? An overview. *Emirates Journal Of Food And Agriculture*, 25(3), 177. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v25i3.11509>
- Real Academia Española. (2018). Tendencia. En *Diccionario de la lengua española* (23.^a ed.). <https://dle.rae.es/tendencia>
- Reichheld, F. F. (2003). The One Number You Need to Grow. *Harvard Business Review*, 81(12), 46–54.
- Roche. (2007). La planeacion como herramienta de adminsitracion. <https://www.fipcaec.com/index.php/fipcaec/article/view/283/498#:~:text=Seg%C3>

%BAn%20(Roche%2C%202007)%20se%C3%B1ala,a%20las%20ideas%20u%20objetivos%E2%80%9D.

Rodríguez, M. (2013). Envasado y empaquetado de productos alimentarios. Málaga, España: IC Editorial.

Rollini, M., Musatti, A., Cavicchioli, D., Bussini, D., Farris, S., Rovera, C., Romano, D., De Benedetti, S., & Barbiroli, A. (2020). From cheese whey permeate to Sakacin-A/bacterial cellulose nanocrystal conjugates for antimicrobial food packaging applications: a circular economy case study. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78430-y>

Rotolo, D., Hicks, D., y Martin, BR (2015). ¿Qué es una tecnología emergente? *Research Policy* , 44(10), 1827–1843. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.06.006>

Rugman, AM, y Verbeke, A. (2004). Una perspectiva sobre las estrategias regionales y globales de las empresas multinacionales. *Journal of International Business Studies* , 35(1), 3-18. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jibs.8400073>

Salvador Montalvo, J. (2018). Tendencias que transformarán la industria global de empaques de alimentos. Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle. Disponible en: <https://repositorio.une.edu.pe/handle/20.500.14039/6891>

Sanchez. (2018). Desarrollo de modelo para mejorar proceso de. <https://core.ac.uk/download/pdf/47249656.pdf>

Sani, M. A., Tavassoli, M., Hamishehkar, H., & McClements, D. J. (2021). Carbohydrate-based película containing pH-sensitive red barberry anthocyanins: Application as biodegradable smart food packaging materials. *Carbohydrate Polymers*, 255, 117488. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117488>

SAP. (2022). Inventory accuracy and digital transformation in manufacturing.

Sectorial. (2024). Colombia se posiciona como el séptimo país con mayor tasa de ocupación en la industria de residuos. <https://www.sectorial.co>

- Semana Revista. (2017). Una mirada a la evolución de los empaques en Colombia. <https://www.semana.com/empaques-una-mirada-historica-a-la-evolucion-en-colombia/36825/>
- Sharma, S., Barkauskaite, S., Duffy, B., Jaiswal, A. K., & Jaiswal, S. (2020). Characterization and Antimicrobial Activity of Biodegradable Active Packaging Enriched with Clove and Thyme Essential Oil for Food Packaging Application. *Foods*, 9(8), 1117. <https://doi.org/10.3390/foods9081117>
- Smithers Pira. (2023). The Future of Digital Printing for Packaging to 2030.
- Smithers Pira. (2024). The Future of Biodegradable Packaging to 2030.
- Smithers Pira. (2024). The future of flexible packaging to 2029. Market research report. Retrieved from <https://www.smithers.com>
- Smithers. (2023). El futuro del embalaje global hasta 2028. Smithers Group.
- StartupBlink. (2024). Global Startup Ecosystem Index.
- StartupBlink. (2025). Ecosistema de startups Colombia 2025. <https://www.startupblink.com/>
- Statista. (2024). E-commerce growth in Latin America 2021–2023.
- Steffens, G. (2017). El análisis PESTEL, Asegure la continuidad de su negocio
- Sustainable Packaging Coalition. (2024). Environmental performance indicators for packaging. Retrieved from <https://sustainablepackaging.org>
- Tamayo. (1991). Estado de arte. <https://virtual.urbe.edu/tesispub/0031126/cap02.pdf>
- Tamer, Y. (2023). Development of citric acid crosslinked biodegradable chitosan/hydroxyethyl cellulose/organo-modified nanoclay composite película as sustainable food packaging materials. *Polymer-Plastics Technology And Materials*, 62(9), 1138-1156. <https://doi.org/10.1080/25740881.2023.2195908>
- Tan, Y. M., Lim, S. H., Tay, B., Lee, M., & Thian, E. S. (2015). Functional chitosan-based grapefruit seed extract composite película for applications in food packaging

technology. *Materials Research Bulletin*, 69, 142-146.
<https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2014.11.041>

Technavio. (2024). Global flexible packaging market 2024-2028. Market analysis report. Retrieved from <https://www.technavio.com>

Teece, D. (2007). Explicating dynamic capabilities: The nature and microfoundations of sustainable enterprise performance. *Strategic Management Journal*, 28(13), 1319–1350.

Teece, DJ (2007). Explicando las capacidades dinámicas: la naturaleza y los microfundamentos del rendimiento empresarial (sostenible). *Strategic Management Journal*, 28(13), 1319-1350. <https://doi.org/10.1002/smj.640>

Thương, N. T., Hoang, N. B., Thuc, C. N. H., Bui, Q. T. P., & Minh, L. V. (2019). Preparation and Characterization of Piper Betle Linn. Leaf Extract Incorporated Chitosan Película as Potential Active Food Packaging Materials. *ChemistrySelect*, 4(27), 8150-8157. <https://doi.org/10.1002/slct.201901331>

Tian, B., Xu, D., Cheng, J., & Liu, Y. (2021). Chitosan-silica with hops β -acids added película as prospective food packaging materials: Preparation, characterization, and properties. *Carbohydrate Polymers*, 272, 118457. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118457>

Toppan Printing Co. Ltd. (2023). GL FILM: Transparent barrier films for sustainable packaging. <https://www.toppan.com/en/business/packaging/glfilm>

Towards Packaging. (16 de julio de 2025). Perspectivas del mercado de envases de Asia-Pacífico 2025. <https://www.towardspackaging.com/insights/asia-pacific-packaging-market-sizing>

Transparencia Internacional. (2024). Índice de percepción de la corrupción 2024: Colombia. <https://www.transparency.org/en/cpi/2024/index/col>

Trodtfeld, F., Tölke, T., & Wiegand, C. (2022). Antimicrobial Functionalization of Prolamine–Silica Hybrid Coatings with Fumaric Acid for Food Packaging Materials

and Their Biocompatibility. Antibiotics, 11(9), 1259.
<https://doi.org/10.3390/antibiotics11091259>

Tumu, K. N., Vorst, K., & Curtzwiler, G. W. (2023). Understanding intentionally and non-intentionally added substances and associated threshold of toxicological concern in post-consumer polyolefin for use as food packaging materials. *Heliyon*, 10(1), e23620. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23620>

U.S. Food and Drug Administration (FDA). (2023). Food Contact Substances (FCS) Inventory. <https://www.fda.gov>

U.S. Food and Drug Administration (FDA). (2024). CFR Title 21 – Food Contact Substances.

U.S. Food and Drug Administration (FDA). (2024). FSMA Rule 204: Requirements for Food Traceability

UN Global Compact. (2023). Sustainable Supply Chain Management Guidelines.

UNCTAD. (2023). Facilitación del Comercio Internacional y la Logística . Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo. <https://unctad.org/topic/transport-and-trade-logistics>

UNEP. (2024). Sustainable Packaging Guidelines for Global Markets.

UNESCO. (2022). Water and Industrial Sustainability.

United Nations Environment Programme (UNEP). (2024). Global plastic pollution reduction initiatives. UNEP. <https://www.unep.org/resources/plastic-pollution-report>

Vasile C, Baican M. Progresses in Food Packaging, Food Quality, and Safety—Controlled-Release Antioxidant and/or Antimicrobial Packaging. *Molecules*. 2021 Feb 26;26(5):1263.

Venkatesan, R., Sekar, S. P., Raorane, C. J., Raj, V., & Kim, S. (2022). Hydrophilic Composites of Chitosan with Almond Gum: Characterization and Mechanical, and

Antimicrobial Activity for Compostable Food Packaging. *Antibiotics*, 11(11), 1502.
<https://doi.org/10.3390/antibiotics11111502>

Vera, P., Canellas, E., & NeríN, C. (2013). Identification of non-volatile compounds and their migration from hot melt adhesives used in food packaging materials characterized by ultra-performance liquid chromatography coupled to quadrupole time-of-flight mass spectrometry. *Analytical And Bioanalytical Chemistry*, 405(14), 4747-4754. <https://doi.org/10.1007/s00216-013-6881-6>

Vera, P., Canellas, E., & NeríN, C. (2014). Migration of odorous compounds from adhesives used in market samples of food packaging materials by chromatography olfactometry and mass spectrometry (GC–O–MS). *Food Chemistry*, 145, 237-244. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.087>

Vera, P., Canellas, E., & NeríN, C. (2020). Compounds responsible for off-odors in several samples composed by polypropylene, polyethylene, paper and cardboard used as food packaging materials. *Food Chemistry*, 309, 125792. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125792>

Villegas, C., Torres, A., Rios, M., Rojas, A., Romero, J., De Dicastillo, C. L., Valenzuela, X., Galotto, M. J., & Guarda, A. (2017). Supercritical impregnation of cinnamaldehyde into polylactic acid as a route to develop antibacterial food packaging materials. *Food Research International*, 99, 650-659. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.06.031>

Wang, M., Liu, Y., Liang, G., Ding, H., Zhou, X. D., Qin, S., Zhao, P., & Han, L. (2022). Migration analysis and health impact assessment of phthalates in takeaway food packaging materials. *Journal Of Food Safety*, 43(1). <https://doi.org/10.1111/jfs.13021>

Whiteman. (2023). I mundo genera más residuos de plástico de un solo uso que nunca, según un informe. <https://cnnespanol.cnn.com/2023/02/06/residuos-plastico-solo-uso-informe-record-trax/>

WIPO. (2024). Mapping Innovations: Patents and the United Nations Sustainable Development Goals. <https://www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=4716>

- World Bank. (2023). Solid Waste Management and Circular Economy.
- World Economic Forum. (2024). Global Gender Gap Report.
- World Trade Organization. (2024). Trade and inclusiveness: How to make trade work for all. <https://www.wto.org>
- World Trade Organization. (2024). Trade Facilitation and Market Access Report.
- Yu, H., Yan, C., & Yao, J. (2014). Fully biodegradable food packaging materials based on functionalized cellulose nanocrystals/poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) nanocomposites. *RSC Advances*, 4(104), 59792-59802. <https://doi.org/10.1039/c4ra12691b>
- Zheng Lu, Linus Hasselström, Göran Finnveden, Nils Johansson, (2022) Cost-benefit analysis of two possible deposit-refund systems for reuse and recycling of plastic packaging in Sweden, *Cleaner Waste Systems*, Volume 3, <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2022.100048>.
- Zidan, N. S., Albalawi, M. A., Alalawy, A. I., Al-Duais, M. A., Alzahrani, S., & Kasem, M. G. (2023). Modification of edible chitosan/polyethylene glycol película fortified with date palm fruit waste extract as promising antimicrobial food packaging materials for fresh strawberry conservation. *European Polymer Journal*, 194, 112171. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2023.112171>
- Zubair, M., Shahzad, S. A., Hussain, A., Pradhan, R. A., Arshad, M., & Ullah, A. (2022). Current Trends in the Utilization of Essential Oils for Polysaccharide- and Protein-Derived Food Packaging Materials. *Polymers*, 14(6), 1146. <https://doi.org/10.3390/polym14061146>
- Zubair, M., Shahzad, S. A., Hussain, A., Pradhan, R. A., Arshad, M., & Ullah, A. (2022). Current Trends in the Utilization of Essential Oils for Polysaccharide and Protein-Derived Food Packaging Materials. *Polymers*, 14(6), 1146. <https://doi.org/10.3390/polym14061146>

Anexo 1.

