

UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS “CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ”

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA



UNIVERSIDAD  
DE CIENFUEGOS

TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO  
QUÍMICO

**Título:** *Propuesta de mejoras desde la perspectiva de Economía Circular en la Empresa GydeMa en Cienfuegos.*

**Autor:** *Dariel Pérez Bermúdez*

**Tutores:** *Ing. Eliané Arias Molina*

*MSc. Daylen Yara Font Prieur.*

**Diciembre 2023, Cienfuegos.**

## *Pensamiento*

*“Si no se puede reducir, reutilizar, reparar, reconstruir, restaurar, remozar, revender, reciclar o compostar, entonces debe ser restringido, rediseñado o quitado de la producción”*

*Pete Seeger*

## *Dedicatoria*

*Me llena de entusiasmo y placer poder dedicar este proyecto a cada uno de mis seres queridos, muchos de ellos lejos, pero a la vez tan cerca que puedo sentir que me acompañan y me escuchan.*

*A mi madre, por ser mi guía y mi motor impulsor, por enseñarme a seguir adelante, por no dejarme caer jamás, por sus ánimos, su fuerza y su espíritu de luchadora.*

*A mi abuela por ayudarme siempre en los momentos que más lo necesitaba, por preocuparse de mi alimentación y mi bienestar, por su apoyo incondicional, su sabiduría y su manera de ver la vida, por siempre estar ahí para mí y siempre diciéndome que no me rindiera nunca.*

*A mi padre por siempre estar presente, por nunca decirme que no cada vez que lo necesitaba, por ser mi motor y guía en este largo camino, por su amor, confianza y orgullo con el que siempre demuestra cuando habla de mí.*

*A mi pareja, que ha sido mi compañero, mi guía, mi fortaleza,  
por cuidarme, por preocuparte por mí, por no dejarme  
desfallecer jamás, por esas charlas interminables llenas de  
consejos y paciencia, por siempre estar presente en todo  
momento.*

*A mi mismo, por pasar noches de desvelo y estudio, por tanta  
dedicación demostrada en el camino de mi formación como  
profesional, a mi que nunca me dejé caer y vencí todos los  
obstáculos, por mirarme al espejo y decirme “no te rindas” y  
seguir adelante.*

## *Agradecimientos*

*Es un orgullo para mi poder hacer mención a todas aquellas personas a quienes agradezco el poder llegar al cumplimiento de esta meta tan anhelada que es mi título profesional a través de este trabajo de tesis, a todos los que de una forma u otra han estado presentes en estos más de 4 años ya de largas travesías y de insuperables momentos compartidos.*

*A mis padres que siempre creyeron en mí, mi abuela, mi hermana, mi pareja y mi familia que siempre me apoyó en todo y por darme las fuerzas necesarias cada mañana para seguir adelante, por su confianza, por su comprensión y por su ayuda a lo largo de mis estudios.*

*Agradezco profundamente a mis tutoras, Eliane Arias Molina y Daylen Yara Font Prieur, cuya dedicación, orientación y apoyo fueron de un valor incalculable durante el desarrollo de este proyecto. Su sabiduría y guía fueron fundamentales para completar este proyecto con éxito.*

*A mis amigos, muchos de ellos casi mi familia, por el tiempo que compartimos juntos, por las experiencias, los bailes, las risas y porque*

*no decir también las borracheras, porque los llevo en mi corazón para  
toda la vida.*

*No puedo pasar por alto el agradecimiento al colectivo de profesores  
de la universidad, cuyo compromiso y enseñanzas han dejado una  
huella indeleble en mi formación como ingeniero. Su arduo trabajo y  
disposición para compartir conocimientos han sido inspiradores y de  
gran impacto en mi desarrollo académico y profesional.*

*A todos mis más sinceros agradecimientos, gracias muchas gracias.*

## *RESUMEN*

Es crucial reconocer el valor de la Economía Circular como un modelo que transforma el sistema lineal de producción en uno circular, integrando la eficiencia productiva y el uso responsable de materiales y energía desde la etapa de diseño del producto. El éxito de este enfoque radica en su capacidad para reducir los impactos negativos al medio ambiente derivados de los modelos de producción actuales. En el contexto de Cuba, es fundamental proyectar una estrategia futura que permita la implementación práctica de este modelo, particularmente en sectores como la industria química y, más específicamente, en la industria alimentaria. La investigación propuesta tiene como objetivo aplicar la Economía Circular en la Empresa GydeMa de Cienfuegos, lo cual no solo busca reducir el impacto ambiental, sino también fomentar la eficiencia y sostenibilidad en un entorno industrial específico.

**Palabras claves:** Economía Circular, industria alimentaria, Medio Ambiente.

## *ABSTRACT*

It is crucial to recognize the value of the Circular Economy as a model that transforms the linear production system into a circular one, integrating productive efficiency and the responsible use of materials and energy from the product design stage. The success of this approach lies in its ability to reduce the negative impacts on the environment derived from current production models. In the context of Cuba, it is essential to project a future strategy that allows the practical implementation of this model, particularly in sectors such as the chemical industry and, more specifically, in the food industry. The proposed research aims to apply the Circular Economy in the GydeMa Company of Cienfuegos, which not only seeks to reduce the environmental impact, but also promote efficiency and sustainability in a specific industrial environment.

**Keywords:** Circular Economy, food industry, Environment.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
<b>CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	4
1.1 Antecedentes y evolución del concepto de Economía Circular.....	4
1.2 Contribución y beneficios de la Economía circular al desarrollo sostenible.....	10
1.2.1 Funcionamiento de la Economía Circular en América Latina y el Caribe.....	11
1.3 Transición de la Economía Lineal a la Circular.....	14
1.4 Economía Circular. Un nuevo enfoque para la creación de valor.....	17
1.4.1 Características de la Economía Circular.....	17
1.4.2 Principios en que se apoya la Economía Circular.....	19
1.4.3 El marco “RESOLVE”.....	21
1.4.4 Indicadores en Economía Circular.....	22
1.4.5 Herramientas de evaluación de Economía Circular.....	25
1.4.6 Modelos, Estrategias, Políticas utilizadas en Economía Circular.....	26
1.4.6.1 Modelos utilizados en Economía Circular.....	26
1.4.6.2 Estrategias utilizadas en Economía Circular.....	28
1.4.6.3 Políticas utilizadas en Economía Circular.....	30
1.4.7 Ventajas económicas de la estrategia circular.....	31
1.4.8 Ventajas ambientales de la Economía Circular.....	34
1.4.9 Ventajas empresariales de la Economía Circular.....	36
1.4.10 Ventajas de la economía circular para la sociedad y para los ciudadanos.....	39
1.5 Ingeniería Química y Economía Circular.....	40
1.6 Implementación del modelo de Economía Circular a nivel industrial.....	42
<b>CAPÍTULO II. PROPUESTA METODOLÓGICA</b> .....	44
2.1 Caracterización de la Empresa.....	44
2.1.1 Caracterización de la Empresa GydeMa de Cienfuegos con enfoque de procesos.....	44
2.1.2 Planteamientos estratégicos de la Empresa GydeMa de Cienfuegos.....	46
2.1.3 Aspectos Productivos.....	47
2.2 Caracterización del proceso tecnológico para la fabricación de almidón en la Empresa de GydeMa en Cienfuegos. Objeto de estudio.....	47
2.2.1 Descripción de la Sección de Recepción, Limpieza y Maceración de Maíz.....	48

2.2.2 Descripción de la sección de Molienda húmeda, Separación de Germen y Fibra.	49
2.2.3 Descripción de la sección Refinación y Secado de Almidón. ....	50
2.2.4 Descripción General del proceso de obtención de Almidón de Maíz en la Empresa GydeMa de Cienfuegos. ....	50
2.3 Propuesta metodológica para la investigación. ....	53
2.3.1 Fase I. Realizar diagnóstico de la empresa. ....	55
2.3.1.1 Ecuaciones para el balance de masa en la sección de Recepción, Limpieza y Maceración de Maíz. ....	56
2.3.1.2 Ecuaciones para el balance de energía en la sección de Recepción, Limpieza y Maceración de Maíz. ....	58
2.3.1.3 Ecuaciones para el balance de masa en la sección de Molienda húmeda Separación de Germen y Fibra. ....	58
2.3.1.4 Ecuaciones para el balance de energía en la sección de Molienda húmeda Separación de Germen y Fibra. ....	60
2.3.1.5 Ecuaciones para el balance de masa en la sección de Refinación y Secado de Almidón. ....	61
2.3.1.6 Ecuaciones para el balance de energía en la sección Refinación y Secado de Almidón. ....	62
2.3.2 Fase II. Definir herramientas para medir circularidad. ....	62
2.3.2.1 Porcentajes de entrada y salida circular. ....	63
2.3.2.2 Porcentaje de energía renovable. ....	70
2.3.3 Fase III. Identificar oportunidades de mejora (elaborar una hoja de ruta).....	71
2.3.4 Fase IV. Generar un plan de acción.....	75
<i>CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</i> .....	76
3.1 Resultados del diagnóstico de la empresa. ....	76
3.1.1 Características y composición del producto final (almidón de maíz).....	76
3.1.2 Balance de masa y energía.....	77
3.1.2.1 Balance de masa en la sección de Recepción, Limpieza y Maceración de Maíz.	77
3.1.2.2 Balance de energía en la sección de Recepción, Limpieza y Maceración de Maíz. ....	80
3.1.2.3 Balance de masa en la sección de Molienda húmeda Separación de Germen y Fibra. ....	81
3.1.2.4 Balance de energía en la sección de Molienda húmeda Separación de Germen y Fibra. ....	83
3.1.2.5 Balance de masa en la sección de Refinación y Secado de Almidón. ....	83
3.1.2.6 Balance de energía en la sección de Refinación y Secado de Almidón. ....	85

<b>3.1.3 Puntos críticos</b> .....	86
<b>3.1.3.1 Puntos críticos en la sección de Recepción, Limpieza y Maceración de Maíz.</b> ..	86
<b>3.1.3.2 Puntos críticos en la sección de Molienda húmeda, Separación de Germen y Fibra.</b> .....	87
<b>3.1.3.3 Puntos críticos en la sección de Refinación y Secado de Almidón.</b> .....	89
<b>3.1.4 Políticas existentes relacionadas con la Economía Circular</b> .....	90
<b>3.1.5 Resultados del diagnóstico</b> .....	92
<b>3.2 Resultados de las herramientas para medir circularidad</b> .....	95
<b>3.3 Oportunidades de mejora (Hoja de ruta)</b> .....	99
<b>3.4 Plan de acción</b> .....	106
<b>CONCLUSIONES</b> .....	109
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	110
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	111
<b>ANEXOS</b> .....	115

## ***INTRODUCCIÓN***

Para incursionar en la implementación de la Economía Circular es necesario devolvernó en el tiempo identificando la necesidad que se llevó a cabo para esta transición, el modelo económico lineal, vigente hoy día, consistente en «tomar, hacer, tirar», lo que conllevaba a generar grandes cantidades fácilmente accesibles de materiales y energía además de la poca vida útil que se le daba a la materia prima, lo que producía un impacto negativo al medioambiente, además de estar enfocada en la extracción, transformación y desechos lo que produce que los costos sociales de la contaminación y el agotamiento de recursos naturales ganan terreno frente a otros beneficios económicos (Domínguez Valdevieso, 2021).

A nivel mundial la Economía Circular ha estado en constante aumento durante los últimos quince años, basándose en investigaciones realizadas en ciencias ambientales, ingenierías y ciencias sociales (Miguel, et al., 2021).

La Economía Circular representa una herramienta de gran importancia para disminuir el actual modelo económico con un enfoque responsable e inteligente de rechazo a la cultura del despilfarro y de la especulación. Es un modelo de producción y consumo que implica compartir, arrendar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar los materiales y productos existentes durante el mayor tiempo posible.

Esta estrategia se basa en tres principios fundamentales: disminución de residuos y contaminación, utilización de los recursos naturales e implementación de sistemas industriales eficaces. Para conseguir la materialización de los principios dentro de una organización se establecieron estrategias enfocadas en las necesidades y fortalezas de las diferentes empresas. Estas estrategias son: ecodiseño, innovación, logística inversa y esquema de cascada (Carrera Villacís, 2021).

En América Latina y el Caribe, la Economía Circular ha cobrado importancia como enfoque que favorece al desarrollo social sostenible.

Los países de la región o bien han aplicado, o bien están planificando nuevas políticas, ya que la Economía Circular ofrece una oportunidad de desarrollo, tanto por la creación de nuevas actividades económicas vinculadas con la provisión de bienes y servicios ambientales, como por la transformación de las actividades económicas que ya existen para aumentar su eficiencia material y reducir su impacto ambiental.

A los efectos de desarrollar la Economía Circular en la región es necesario modificar políticas públicas, la regulación, los sistemas de gestión, las finanzas, las inversiones, los sistemas de financiamiento, y las capacidades en todos los países (Schröder, et al., 2020).

Los pasos de avance en materia de Economía Circular en Cuba subyacen bajo el desarrollo de la industria del reciclaje.

En Cuba no existe una estrategia de Economía Circular propiamente declarada. A pesar de esto, los pasos de avance en esta materia son destacables a partir del desarrollo de la industria del reciclaje por lo que es importante ampliar el papel de la misma y redirigirla hacia el desarrollo de una economía circular. Los sectores que más potencialidades presentan en la economía cubana para implementar una estrategia de economía circular son el sector de la industria química, el sector de la salud y el turismo.

En el sector de la industria química existen potencialidades de establecer procesos de simbiosis industrial con otras industrias, pero es necesario que se trace estrategia circular. La industria de perforación y extracción del petróleo y la industria del cemento pudieran establecer un primer proceso en Cuba, se debe trabajar arduamente en este sentido (Piloto Chávez & Ruíz Acosta, 2022).

Actualmente, el sector industrial se maneja con conceptos caducos de producción y consumo lineal. Los efectos de esta acción se pueden traducir en escasez de recursos e incremento del deterioro en los ecosistemas.

La Empresa GydeMa de Cienfuegos está generando impactos potenciales de sus actividades, productos y servicios sobre el Medio Ambiente, en particular por la alta carga contaminante de sus aguas residuales y la contaminación atmosférica con malos olores y los gases de combustión de su planta energética, revelando un pobre desempeño ambiental en el mejoramiento y mantenimiento de la calidad del Medio Ambiente y la protección de la salud humana, a la vez que no cumple con los requisitos legales y de otros tipos establecidos en la Legislación Ambiental de Cuba (García Zamora, 2012).

Por lo que se decide realizar un estudio basado en la implementación de la economía circular utilizando la herramienta CircularTRANS, la cual permite diagnosticar el nivel de transición hacia modelos circulares, seleccionar oportunidades de mejora, elaborar una

hoja de ruta y generar un plan de acción en la Empresa GydeMa de Cienfuegos, como estrategia que busca generar crecimiento económico optimizando el uso de recursos, incrementando la vida útil de los productos y reduciendo la generación de contaminación e impactos ambientales negativos.

### **Problema científico**

La no existencia de un diagnóstico desde la perspectiva de la Economía Circular en la Empresa GydeMa de Cienfuegos conduce al desarrollo de malas prácticas y debido a esto un mal manejo en la gestión de productos y procesos.

### **Hipótesis**

La aplicación de un diagnóstico desde la perspectiva de la Economía Circular en la Empresa GydeMa de Cienfuegos permitirá una mayor eficiencia de su proceso tecnológico.

### **Objetivo general**

Proponer mejoras desde la perspectiva de Economía Circular en la empresa GydeMa en Cienfuegos.

### **Objetivos específicos**

1. Establecer los fundamentos teóricos que sustentan la investigación desde la perspectiva de la Economía Circular.
2. Diagnosticar a través de la metodología de Economía Circular el proceso productivo de la Empresa GydeMa de Cienfuegos.
3. Proponer un plan de mejora desde la perspectiva de Economía Circular que contribuya al desarrollo empresarial de la fábrica.

## *CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN*

En este capítulo se presentarán los antecedentes y la evolución del concepto de la Economía Circular. Seguido, se analizará su contribución al Desarrollo Sostenible, por la gran importancia en la preservación del Medio Ambiente. Se dará a conocer cómo funciona la Economía Circular en América Latina y El Caribe, y conoceremos porque la necesidad del tránsito hasta esta economía, así como los principios, características, indicadores, herramientas, modelos, estrategias y políticas de la misma. Se exponen todas las ventajas y beneficios que trae consigo la implementación de este modelo circular en la economía, el medioambiente y la sociedad. También veremos la necesidad de adoptar estas estrategias en la industria química. Por último, presentara la importancia de la Economía Circular para la industria alimenticia para poder entender la aplicación de la misma a nivel industrial.

### **1.1 Antecedentes y evolución del concepto de Economía Circular.**

El mundo se enfrenta a un escenario en el cual la sobreexplotación de los recursos finitos ha llevado a comprometer seriamente su disponibilidad para el desarrollo de las actividades sujetas a su uso a lo largo del tiempo. Esta realidad ha generado significativos impactos y situaciones adversas que con creciente frecuencia afectan a la seguridad de la sociedad y al equilibrio del medio ambiente.

El clásico esquema lineal, por el cual se desarrollan etapas sucesivas de extracción, procesamiento, utilización y eliminación de productos y materiales, no es sostenible de modo indefinido, con el agravante de que, durante el proceso, se originan residuos y subproductos susceptibles de ser retornados al circuito productivo o al ciclo natural, pero que, en cambio, son despreciados y destinados a su eliminación por incineración, destrucción o depósito en vertederos. Esta situación conduce a la necesidad de identificar prioridades para consolidar una economía más competitiva, responsable y sostenible, orientada en función de un marco en el que la innovación resulta esencial para el progreso y para garantizar el bienestar de la humanidad.

La Economía Circular constituye la antítesis del modelo lineal. Es, conceptualmente, un modelo “holístico”, “restaurador” y “regenerativo”. Propicia que productos, componentes y materiales mantengan su valor y su utilidad de modo permanente a lo largo de todo el ciclo de producción y uso. Genera indiscutibles ventajas ambientales, beneficios sociales y valor

añadido para las empresas, aspectos necesarios para garantizar la sostenibilidad de los recursos y la diversidad ecológica en un contexto planetario globalizado, complejo, y a menudo, imprevisible.

El objetivo es analizar las posibles vías que permitan provocar el cambio de paradigmas necesario para reconducir el modelo económico vigente y desterrar los deficientes hábitos de comportamiento social (Espaliat Canu, 2017).

El concepto de Economía Circular tiene sus orígenes en diferentes raíces y es por eso que su inicio no puede ser definido de manera exacta, sin embargo, sus aplicaciones a la economía moderna y a ciertos procesos industriales han ganado importancia desde finales de 1970 como resultado del esfuerzo de representantes de la academia, líderes del pensamiento y empresarios (Cordero Jerves, 2018).

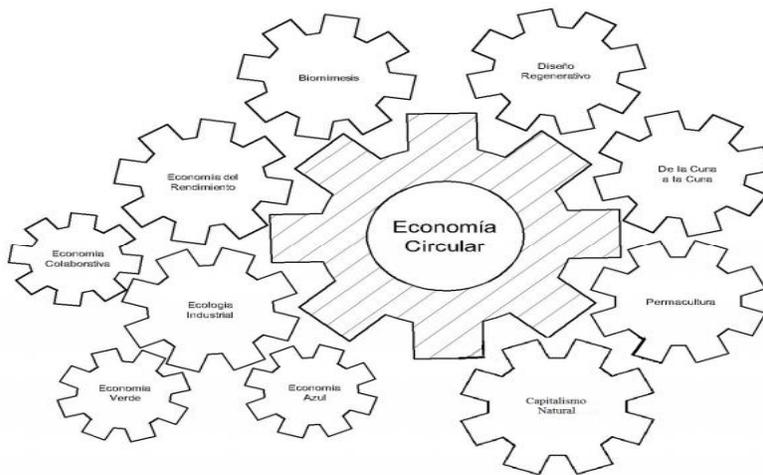
- **Diseño Regenerativo:** este término se dio en los años setenta cuando el profesor estadounidense John T. Lyle colocó un desafío a los estudiantes pidiéndoles que pensarán en ideas donde las actividades diarias de una sociedad se basaran o estuvieran dentro del marco de los recursos renovables sin la degradación ambiental, de ahí surgió la idea y el concepto 'regenerativo', donde los procesos mismos se renuevan o se regeneran las fuentes de energía y materiales que consumen.
- **Economía del desempeño:** Walter Stahel, arquitecto y analista industrial, esbozó la visión de una economía en bucles y su impacto en la creación de empleo, la competitividad económica, el ahorro de recursos y la prevención de residuos en su informe de investigación de 1976 a la Comisión Europea llamado El potencial para sustituir mano de obra por energía, el cual perseguía cuatro objetivos principales: la extensión de la vida útil del producto, los bienes de larga duración, las actividades de reacondicionamiento y la prevención de residuos. También insiste en la importancia de vender servicios en lugar de productos, una idea conocida como la "economía funcional del servicio", que ahora se incluye más ampliamente en la noción de "economía del desempeño".
- **Cradle to Cradle (de la cuna a la cuna):** en la década de 1990, el químico y visionario alemán Michael Braungart desarrolló, junto con el arquitecto estadounidense Bill McDonough. Esta filosofía de diseño considera que todo el material involucrado en los procesos industriales y comerciales son nutrientes, de los cuales existen dos categorías

principales: técnica y biológica. El marco Cradle to Cradle aborda no solo los materiales, sino también los insumos de energía y agua, y se basa en tres principios clave: desperdicio es igual a alimentos, usar el ingreso solar actual, celebrar la diversidad.

- **Ecología Industrial:** es el estudio de flujos de materiales y energía a través de sistemas industriales. Al enfocarse en las conexiones entre operadores dentro del 'ecosistema industrial', este enfoque apunta a crear procesos de circuito cerrado en los cuales los residuos sirven como entrada, eliminando la noción de un subproducto no deseado, al tiempo que observa su impacto global desde el principio e intenta configurarlos para que funcionen lo más cerca posible de los sistemas vivos.
- **Economía Azul:** iniciada por el ex CEO de Ecover y el empresario belga Gunter Pauli, Blue Economy es un movimiento de fuente abierta que reúne estudios de casos concretos, compilados inicialmente en un informe homónimo entregado al Club de Roma. Como se indica en el manifiesto oficial, "utilizando los recursos disponibles en los sistemas en cascada, (...) el desperdicio de un producto se convierte en el insumo para crear un nuevo flujo de caja". Basada en 21 principios fundamentales, la Economía Azul insiste en que las soluciones estén determinadas por su entorno local y sus características físicas y ecológicas, poniendo el énfasis en la gravedad como la principal fuente de energía. El informe, que se duplica como el manifiesto del 10 movimiento, describe "100 innovaciones que pueden crear 100 millones de empleos en los próximos 10 años.
- **Biomimetismo:** la creadora es Janine Benyus, define su enfoque como "una nueva disciplina que estudia las mejores ideas de la naturaleza y luego imita estos diseños y procesos para resolver problemas humanos". Estudiar una hoja para inventar una mejor célula solar es un ejemplo. Ella lo considera como una "innovación inspirada en la naturaleza". El biomimetismo se basa en tres principios clave: la naturaleza como modelo, la naturaleza como medida, la naturaleza como mentor.
- **Permacultura:** Los ecólogos australianos Bill Mollison y David Holmgren acuñaron el término "permacultura" a fines de la década de 1970, definiéndolo como "el diseño consciente y el mantenimiento de los ecosistemas productivos de la agricultura, que tienen la diversidad, la estabilidad y la resistencia de los ecosistemas naturales". Existe un considerable interés en el concepto en todo el mundo, impulsado por pensadores y profesionales como Masanobu Fukuoka en Japón y Sepp Holzer en Austria. La

permacultura extrae elementos tanto de la agricultura tradicional sostenible como de las innovaciones y principios modernos. Los sistemas de permacultura mejoran los rendimientos y las dietas al tiempo que reducen el consumo de agua, mejoran la calidad del suelo y restauran la biodiversidad.

- Capitalismo natural: desarrollado por Paul Hawken, Amory Lovins y Hunter Lovins en 1999, estudia a la economía de servicios en la que se adoptan procedimientos de producción de ciclo cerrado que no ocasionan residuos ni daños ambientales, los beneficios logrados se reinvierten para asegurar la preservación de los recursos naturales (Aguilar, 2019).



**Figura 1.1.** Resumen escuelas de pensamiento para la Economía Circular. **Fuente.** (Díaz García, 2022)

Según los datos publicados en el informe Panorama de los recursos globales 2019 de la ONU, en las últimas cinco décadas nuestra población mundial se ha duplicado, la extracción de materiales se ha triplicado y el producto interno bruto se ha cuadruplicado. La extracción y el procesamiento de los recursos naturales se ha acelerado en las dos últimas décadas y es responsable de más del 90 por ciento de nuestra pérdida de biodiversidad, del estrés hídrico y de aproximadamente la mitad de los impactos relacionados con el cambio climático. En los últimos 50 años no hemos experimentado una sola vez un período prolongado de

estabilización ni una disminución en la demanda mundial de materiales. Es decir, está en riesgo la salud de la humanidad y, por lo tanto, la calidad de vida que se alcanzó con la industrialización. Para revertir esta situación, se emplea un sistema económico circular, que sustituiría al actual sistema lineal, principal culpable de esta aceleración en la degradación del planeta. En este sistema, se sustituye el «producir, usar y tirar» por «reducir, reusar y reciclar».

Una economía que supone ampliar las clásicas y famosas tres «R's» (de reducir, reutilizar, reciclar) con una «R-Tipología» ampliada que incluye nuevas funciones del tratamiento circular de los materiales, productos y servicios y que modifica sustancialmente los enfoques de las clásicas políticas de gestión ambiental, donde predomina el enfoque de gestión de tratamiento de «final de tubería»

Con el lamentable retraso de una ansiada Estrategia Nacional de Economía Circular el mundo está perdiendo una oportunidad estratégica para definir un sólido marco de referencia, identificar prioridades, gestionar los conflictos, aplicar políticas avanzadas y fomentar inversiones innovadoras para aprovechar los potenciales beneficios y la generación de empleo sostenible de los nuevos patrones circulares de producción y consumo (Jiménez Herrero, 2020).

Aunque la mayoría de la gente cree que la mitigación climática sólo requiere cambiar los sistemas de energía, la clave está en los materiales y en el uso de la tierra. La economía circular requiere un cambio de modelo productivo que exige una gestión sostenible de las materias primas, los productos fabricados y los residuos generados, así como un consumo responsable por parte de la sociedad. Esto ayudará a tener ciudades más habitables, una mayor distribución de valor de la economía, el fomento de la innovación, la reducción de la contaminación de ecosistemas marinos y terrestres y de la pérdida de biodiversidad, así como una disminución de los riesgos para la salud humana.

Es por ello que se destaca que la economía circular no es una alternativa, sino una necesidad. Pero esa transición entraña un cambio en el modelo de consumo que no sólo afecta al tipo de productos que consumimos, sino al modo en que los consumimos (Serón Galindo, 2020).

Circularizar la economía exige que los productores asuman su responsabilidad sobre la fase de uso y retirada del bien y diseñe los productos-servicios para minimizar los impactos

también en esa fase. Y si no puede minimizarlos, deberían plantearse medidas que obliguen a productores a compensar los daños que producen. Alerta de que la tecnología sólo puede resolver parte del problema: el cambio sólo vendrá si cambiamos las lógicas y los hábitos que han causado el problema. Esto tiene necesariamente un coste para el consumidor, que a veces no es económico, sino de tiempo o esfuerzo (Valor Martínez, 2020).

A pesar que el término de Economía Circular es relativamente nuevo, existen disímiles definiciones referentes al nuevo modelo económico emergente, dadas por investigadores y estudiosos del fenómeno, a título individual o colectivo, en el seno de fundaciones y centros de estudios la mayoría de ellas compartiendo elementos característicos. El concepto general ha ido desarrollándose y evolucionando, influenciado por diferentes escuelas del pensamiento y empresarios.

Ellen MacArthur Foundation, una de las organizaciones que más recursos destina al estudio y la implantación de la Economía Circular en países como Asia, Europa, América Latina y América del Norte señala que:

Una Economía Circular es restaurativa y regenerativa por diseño y tiene como objetivo mantener productos, componentes y materiales en su máximo grado de utilidad y valor en todo momento. El concepto distingue entre ciclos técnicos y biológicos. Este nuevo modelo económico busca, en última instancia, desacoplar el consumo global de consumo finito de recursos. Impulsa objetivos estratégicos claves, como la generación de crecimiento económico, la creación de empleo y la reducción de impactos ambientales, incluidas las emisiones de carbono (Foundation, 2015).

La Fundación COTEC para la innovación en su primer informe sobre la situación de la Economía Circular en el año 2017 define la adopción de la Economía Circular como un:

cambio hacia sistemas regenerativos a partir de su diseño, para mantener el valor de los recursos (...) y de los productos y limitando, exponencialmente, los insumos de materias primas y energía. Esto evitará la creación de residuos e impactos negativos derivados, mitigando las externalidades negativas para el medioambiente, el clima y la salud humana (Tollin ,et al., 2017).

Por su parte, la Comisión Europea, en su Plan de Acción para la Economía Circular, establece que en este modelo el valor de los productos, los materiales y los recursos se mantienen “en

la economía durante el mayor tiempo posible, y se reduce al mínimo la generación de residuos”, lo cual contribuye a lograr una “economía sostenible, hipercarbónica, eficiente en el uso de los recursos y competitiva”.

A partir de ellas, podemos proponer una definición del término que en breves palabras explique la total magnitud que lo caracteriza. Así, la Economía Circular sería un modelo de producción y consumo competitivo y sostenible y, por ende, antagónico al obsoleto modelo lineal, que pretende optimizar el uso de recursos, materias primas y energía, incorporando primero a la cadena de valor y superando después las externalidades negativas. Basándose en los principios de restauración, regeneración y resiliencia, que permiten asimilar el ciclo técnico de los productos al ciclo biológico de los nutrientes, se dota al modelo de la circularidad que lo caracteriza evitando la generación de residuos y permitiendo maximizar la utilidad y valor de los productos y materiales en todo momento (Varela Menéndez, 2018).

### **1.2 Contribución y beneficios de la Economía circular al desarrollo sostenible.**

Las grandes transformaciones a las que estamos asistiendo en nuestros días implican tanto riesgos/costes como oportunidades. Del mismo modo, la transición hacia una economía circular sin duda está generando numerosas oportunidades económicas para las empresas y para el conjunto de la economía en la medida en que supone transformar las organizaciones, las interrelaciones, los activos, etc.

La economía circular implica ventajas si se observa el sistema de producción y consumo en su conjunto y se tienen en cuenta los límites ambientales. Sin ánimo de ser exhaustivos podríamos apuntar a las siguientes ventajas clasificadas en categorías o dimensiones:

#### **Económicas**

- Nuevas oportunidades de crecimiento económico y de generación de valor añadido a través del aprovechamiento de nuevas sinergias, complementariedades y colaboraciones interempresariales, horizontales y verticales, así como de la valorización de los desechos.
- Eficiencia económica y reducción de costes ante la menor utilización de recursos naturales, materias primas, materiales y energía. Por lo tanto, menor dependencia de la cadena de suministro.
- Menor dependencia en términos de suministro y precios de estos materiales y materias primas.

## Sociales

- Nuevas oportunidades de empleo y empleabilidad asociadas al potencial crecimiento económico.
- Mayor colaboración social y económica.
- Mayor interacción de los grupos de interés de las empresas.

## Ambientales

- Menores emisiones de gases de efecto invernadero y, por consiguiente, contribución a la lucha contra el cambio climático.
- Menor uso de materiales y de materias primas, o sea, una menor presión extractiva.
- Reducción de la huella y mochila ecológicas.
- Mejora del agua y del suelo (García, 2020).

### 1.2.1 Funcionamiento de la Economía Circular en América Latina y el Caribe.

La aplicación de la Economía Circular a nivel mundial cada vez va tomando mayor notoriedad, dado que brinda soluciones a los problemas del actual modelo de producción lineal. En América Latina la aplicación de Economía Circular posee una baja participación internacional en producción científica y de iniciativas de políticas públicas por país como se muestra en la Tabla 1.1, ya que es un escenario reciente, aunque ha tomado bastante impulso en los últimos años.

La economía circular ha ganado protagonismo en América Latina y el Caribe (ALC) en los últimos años como un enfoque para el desarrollo sostenible. Los países de la región han implementado o están planeando nuevas políticas económicas, iniciativas públicas y hojas de ruta circulares.

**Tabla 1.1.** Producción científica y de iniciativas de políticas públicas por países. **Fuente:** (Martínez Cerna, 2019)

Puesto	País	Porcentaje (%)	Puesto	País	Porcentaje (%)
1	China	12, 58	11	Dinamarca	3, 01
2	Inglaterra	10, 34	12	Australia	2, 75
3	Italia	9, 68	13	Bélgica	2, 46

4	España	7, 56	14	Portugal	2, 45
5	EE. UU	6, 49	15	Polonia	2, 27
6	Países Bajos	5, 90	16	Austria	2, 03
7	Alemania	5, 65	17	Brasil	2, 02
8	Suecia	4, 47	18	Japón	1, 94
9	Finlandia	4, 11	19	Canadá	1, 87
10	Francia	3, 67	20	Grecia	1, 65

La pandemia de COVID-19 ha puesto de manifiesto importantes deficiencias en la economía lineal – la vulnerabilidad de las cadenas globales de valor, el agotamiento de los recursos y la exacerbación de las desigualdades sociales. La economía circular ofrece un marco alternativo para un modelo de economía más resiliente e inclusiva en los países de ALC.

Una transición exitosa hacia la economía circular en ALC dependerá de la adopción generalizada de tecnologías Industria 4.0. Industria 4.0 es un habilitador clave de la economía circular, permitiendo que los nuevos modelos de negocio sean rentables reduciendo los impactos ambientales. Los gobiernos de ALC deben apoyar una transición económica circular a través de una lente tecnológica, para garantizar tanto el valor agregado y la sostenibilidad.

Los países de ALC deben invertir más en investigación y desarrollo para aprovechar al máximo las tecnologías de la Industria 4.0 y aplicarlas a una transición económica circular. La inversión en ciencia y tecnología sigue siendo comparativamente baja, equivalente en promedio a solo el 0,66 por ciento del PIB en toda la región, con las empresas (públicas y privadas) financian sólo alrededor del 36 por ciento de esa participación.

Las consideraciones de justicia social y ambiental son de igual importancia en. El modelo de economía circular. Un enfoque de “transición justa” es importante para garantizar que la economía circular no perpetúe las desigualdades existentes del modelo económico lineal, o dañar los medios de subsistencia a través de nuevas tecnologías y la automatización de puestos de trabajo. Un enfoque de la economía circular basado en la innovación social en la región de ALC puede reducir la pobreza al mismo tiempo que promueve el desarrollo humano y patrones de consumo sostenibles para una sociedad más resiliente e inclusiva.

Buena gobernanza y establecimiento de instituciones transparentes y basadas en normas a nivel nacional son cruciales para una transición en la región a la economía circular exitosa e inclusiva. Proporcionar un entorno de inversión estable y mercados que funcionen para los negocios, así como abordar la desigualdad, es crucial para el éxito. A nivel regional, se pueden diseñar estrategias para asegurar que los países se coordinen para apoyar a las regiones nacionales y subnacionales en la transición.

La situación financiera actual para la economía circular en la región de ALC se limita principalmente a la provisión de financiamiento internacional para el desarrollo de gestión de residuos y reciclaje, que se encuentran en el extremo inferior de la valorización jerárquica dentro de la economía circular. Durante la próxima década podría haber cambios sustanciales en toda la región en la gestión de residuos, que necesitarán ser financiadas. Es importante atraer inversiones tanto nacionales como extranjeras más allá del sector de la gestión de residuos para hacer la transición hacia una economía circular posible.

Las tres grandes áreas industriales prioritarias para la economía circular en ALC se encuentran el sector minero y extractivo, la gestión de residuos y el reciclaje y la bioeconomía. Prácticas de economía circular en el sector de la minería son esenciales para reducir los impactos ambientales y los riesgos sociales. También mejorarán la competitividad del sector ya que la demanda de materias primas caídas de metales y minerales por la minería urbana y avances en la reutilización de productos, tecnologías de recuperación y reciclaje de materiales. En la gestión de residuos y reciclaje, las prácticas de economía circular podrían reducir la cantidad de residuos que se depositan en vertederos o se queman. Mientras tanto, la bioeconomía ofrece grandes oportunidades para sistemas alimentarios y agricultura sostenibles en la región, lo que puede ayudar a evitar las compensaciones entre lo económico, lo social y lo objetivos ambientales (ONUDI, 2022).

Una economía circular es una oportunidad para que la región se posicione como un actor clave y se convierta en líder en la transición global hacia una economía baja en carbono alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

A través de la durabilidad, la reutilización, la reparabilidad, la refabricación, el reciclaje, la compostabilidad y la regeneración, los productos y materiales pueden permanecer en uso

durante más tiempo y generar nuevos puestos de trabajo, flujos de ingresos y de rentabilidad a largo plazo con un menor impacto ambiental.

La circulación de materiales, como plásticos y metales, y el uso eficiente de los edificios evitaría los residuos y la degradación ambiental al mismo tiempo que crearía una amplia gama de oportunidades de negocio y laborales en los sectores de gestión de residuos, reciclaje y servicios, así como en innovación, diseño, estrategia y planificación. Las soluciones creadas dentro de la economía circular son positivas para el clima y la biodiversidad y deben basarse en la riqueza de recursos naturales de la región. Las soluciones circulares pueden acelerarse y los sistemas en los que circulan productos y materiales pueden escalar y volverse más accesibles y asequibles para las personas, lo que beneficia la inclusión. Con la ayuda de políticas, financiamiento e infraestructura, estas soluciones pueden convertirse en la norma.

Las políticas pueden estimular el diseño y la producción para la economía circular en todos los sectores; favorecer la gestión de los recursos y la preservación de su valor; crear las condiciones que hagan de las alternativas de economía circular las mejores opciones; apoyar la innovación, la infraestructura y las competencias; y estar alineadas a nivel nacional e internacional. El financiamiento puede posibilitar la innovación, el desarrollo de mercados secundarios, competencias y la infraestructura física, digital y natural necesaria. Nuestra rica industria de alimentos podría regenerar tierras, contribuir a una sociedad más saludable y ayudar a hacer frente al cambio climático. Otras industrias podrían aprovechar la economía de formas que preserven la naturaleza y contribuyan al sustento de las personas.

Una economía circular en la región debe aprovechar sus ricos recursos naturales, estar impulsada por energía y materiales renovables y tener soluciones basadas e inspiradas en la naturaleza que desbloqueen la innovación y contribuyan a mejorar el bienestar (Sur, 2022).

### **1.3 Transición de la Economía Lineal a la Circular.**

La primera revolución industrial, que tuvo lugar en el último tercio del siglo XVIII y principios del siglo XIX, supuso un cambio claramente disruptivo en las formas de producir artesanales e implantó un modelo de producción lineal que ha perdurado hasta nuestros días.

### **Consecuencias económicas**

- Volatilidad del precio de los recursos y riesgos en el abastecimiento
- Pérdidas económicas y residuos estructurales
- Escasez de suministros ya que los depósitos naturales de recursos son finitos
- Crisis financiera

### **Consecuencias sociales**

- Aumento de las desigualdades sociales
- Deshumanización de la sociedad
- Explotación laboral
- Migración masiva del medio rural a las ciudades
- Pérdida del medio de vida
- Pérdidas de trabajo

### **Consecuencias ambientales**

- Cambio climático
- Desertización y degradación del suelo
- Pérdidas de la biodiversidad
- Contaminación de los océanos
- Aumento de los desastres naturales

Con esto a la vista podemos advertir que el modelo económico mayoritario que hoy conocemos, ligado al sistema capitalista de producción y consumo en el mundo global en el que vivimos, es claramente incoherente e irresponsable. Se puede decir que los sistemas de producción de carácter lineal, a los que estamos acostumbrados, se comportan como si consideraran los recursos naturales, y por consiguiente las materias primas, ilimitados y dados, rigiéndose por elementos estrictamente internos o economicistas, y sin tener en cuenta los impactos negativos y las externalidades que generan en términos económicos, sociales y ambientales sobre el entorno.

Comentado [EAM1]: Poner en la misma letra que el resto del documento

#### ESQUEMA DE LA ECONOMÍA LINEAL



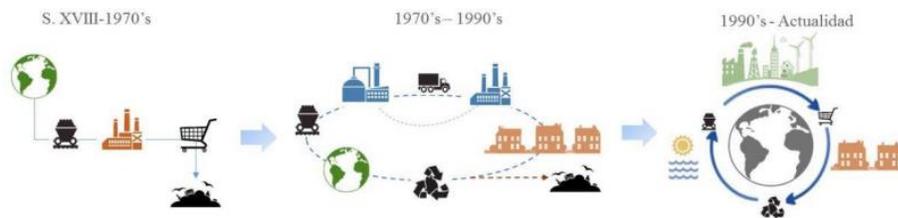
**Figura 1.2.** Esquema de la Economía Lineal. **Fuente.** (García, 2020)

Todos los impactos se traducen en un deterioro de los distintos capitales con los que cuenta una sociedad: capital financiero, social, natural, etcétera. La situación se va poniendo cada vez peor si vamos analizando el proceso de globalización que está incidiendo en el traslado de residuos y por consiguiente una parte muy importante de los riesgos sobre el medio ambiente y la salud humana, de los países más desarrollados a los menos desarrollados, que por lo general estos cuentan con una legislación ambiental menos restrictiva, además de estar dotados de una menor tecnología para el tratamiento de dichos residuos.

El pasar de una economía lineal a una economía circular implica un proceso de transición que conlleva cambios organizativos, cambios en los procesos, cambios en el diseño de productos y servicios, pero, sobre todo, un cambio cultural de primer orden que acarrea, a su vez, una profunda transformación del sistema de incentivos que conocemos. Implica igualmente revisar el concepto de satisfacción del consumidor, de aproximar localmente la producción y el consumo, de avanzar cada vez hacia una economía más colaborativa y de código abierto.

La economía circular pretende paliar los grandes problemas que genera la economía lineal basada en la extracción sistemática e indiscriminada de materiales y en la generación de desechos tras el ciclo de vida útil de los productos. Es un nuevo paradigma económico, claramente disruptivo. Se inspira en los ciclos de la naturaleza que no generan residuos y cuenta con todos los factores asociados a un sistema económico, incluido su sistema de incentivos. Pretende desvincular el crecimiento económico de la utilización de materiales y de energía, a través del mantenimiento del valor de los recursos (materiales, energía, suelo y agua) y de los productos, los que permanecerían más tiempo en el ciclo productivo. Esta estrategia entiende una interrelación responsable entre los ciclos económicos y los ciclos ecológicos, preservando el capital natural a través de la mejora de la eficiencia productiva, disminuyendo asimismo las externalidades negativas que genera el sistema económico. Este

modelo de consumo entiende que la escasez es fuente de nuevas oportunidades, por lo que implica nuevos procesos de innovación, nuevas posibilidades de negocio y de inversión. Esto implica importantes transformaciones económicas y sociales que deben ser lideradas por planteamientos y esquemas que sean capaces de ver el sistema de producción y consumo de forma completa y crítica. Esto supone la desmaterialización y la desenergización paulatina de la economía, así como el mantenimiento del valor en el tiempo de los materiales y de los recursos. También supone cambiar el sistema general de incentivos en los procesos productivos. Por lo tanto, la economía circular implica la implementación de diversas políticas, medidas e instrumentos de carácter legislativo/normativo, fiscal, de fomento de la innovación e I+D, formativas/ informativas y de acceso a la financiación (García, 2020).



**Comentado [EAM2]:** Si toda esta información la sacaste de la misma bibliografía resúmela un poco más y ponla en forma de texto porque se repite mucho al inicio de cada texto la economía circular...

**Comentado [DPB3R2]:**

**Figura 1.3.** Transición de la economía lineal a la economía circular. **Fuente.** (Prieto-Sandoval, 2017)

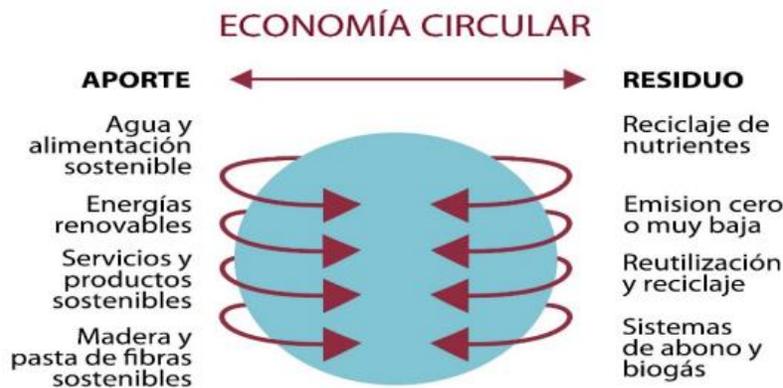
## 1.4 Economía Circular. Un nuevo enfoque para la creación de valor.

### 1.4.1 Características de la Economía Circular.

La economía circular, el sistema holístico que empiezan a utilizar numerosas empresas para repensar sus ciclos productivos, adquiere en estos momentos notabilidad a gran velocidad. Trabajar sobre sus principios permitiendo corregir un sinnúmero de deficiencias durante la fabricación de productos y prestación de servicios, optimizando el consumo de recursos, reduciendo la generación de residuos y subproductos desechables, y aportando nuevas fuentes de producción y ahorro de energía. La economía circular facilita la aplicación del principio de la prevención y la sostenibilidad en el ámbito ambiental.

Aún más revolucionario es lo que ocurre cuando las industrias establecen con sus clientes un compromiso de implantación de modelos de negocio innovadores, mediante los cuales los procesos de reciclaje se logran a través del retorno de los productos obsoletos a la cadena de producción. Este esquema es aplicable solo cuando se dispone de mecanismos,

infraestructuras y vías de recolección y logística que faciliten a los usuarios devolver los artículos al productor o al distribuidor, lo cual implica la necesidad simultánea de cambiar los modelos y hábitos de consumo a nivel del propio ciudadano, el verdadero motor de la demanda de productos y servicios (Espaliat Canu, 2017).



**Figura 1.4.** Mapa conceptual de la Economía Circular **Fuente.** (Espaliat Canu, 2017)

La Economía Circular consiste en lograr utilizar los residuos como insumos, sin comprometer el valor de los materiales y sin producir daños al medioambiente. Para esto es necesario tener en cuenta las características claves de la Economía Circular, según Agencia Europea de Medio Ambiente, (EEA, European Environment Agency), por sus siglas en inglés que aparecen reflejadas en la Figura 1.4.

- Reducción de insumos y menor utilización de recursos naturales

Está basado en la explotación de forma mínima y óptima de materias primas, proporcionando más valor con menos materiales, la reducción de la dependencia de las importaciones de recursos naturales, la utilización eficiente de los mismos y la minimización del costo total de agua y energía.

- Reducción de emisiones.

Su principal prioridad es la reducción de emisiones a lo largo de todo el ciclo material, usando la menor cantidad de materias primas posibles y obtención sostenibles de estas, se produce una menos contaminación ambiental a través de los ciclos materiales limpios.

- Disminuir las pérdidas de materiales y los residuos

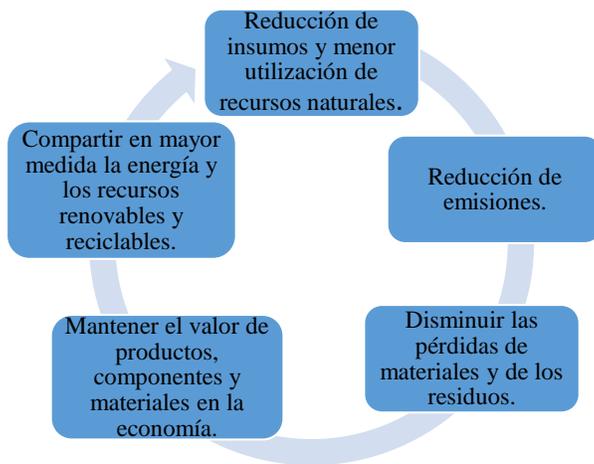
Se hace una propuesta para la minimización de acumulación de desechos, limitar y hacer lo posible por disminuir la cantidad de residuos que son incinerados y vertidos, también minimizar las pérdidas por disipación de recursos que tienen valor.

- Mantener el valor de productos, componentes y materiales en la economía.

Se basa en alargar la vida útil de los productos, manteniendo el valor actual de los productos que están en uso, la reutilización de los componentes y preservar el valor de los materiales en la economía, a través de reciclaje de alta calidad.

- Compartir en mayor medida la energía y los recursos renovables y reciclables.

Se basa en el remplazo de los recursos no renovables por recursos que sean renovables con niveles sostenibles en oferta. Consiste en mayor proporción de materiales reciclables y reciclados que puedan reemplazar a materiales vírgenes, el cierre de bucles materiales y extraer las materias primas de manera sostenible (CERDÁ & KHALILOVA, 2016).



**Figura 1.5.** Características de la Economía Circular. **Fuente.** Elaboración propia

#### 1.4.2 Principios en que se apoya la Economía Circular.

Los tres principios principales de actuación sobre los que descansa la Economía Circular y que se mantiene presente en cada una de sus dimensiones de desarrollo fueron formulados en un inicio por la Ellen MacArthur Foundation

A continuación, serán completados en base a otros autores y organismos.

**Principio 1:** Preservar y mejorar el capital natural, controlando las reservas finitas y equilibrando los flujos de recursos renovables, desmaterializando la utilidad y ofreciendo ventajas cualitativas y de forma virtual siempre que sea posible. Cuando se necesitan recursos, el sistema circular los selecciona de forma sensata y elige tecnologías y procesos que utilizan recursos renovables o de mayor rendimiento, siempre que sea viable. La economía circular preserva y mejora el capital natural alentando los “flujos de nutrientes” dentro del sistema y generando las condiciones para la regeneración.

**Principio 2:** Optimizar el rendimiento de los recursos distribuyendo productos, componentes y materias procurando su máxima utilidad en todo momento. Esto implica diseñar para refabricar, reacondicionar y reciclar con el propósito de mantener los componentes técnicos y materias circulando, contribuyendo de este modo a optimizar la economía. Los sistemas circulares utilizan bucles internos más reducidos, por ejemplo, a la hora de priorizar el mantenimiento o la reparación siempre que resulte posible, antes de proceder al reciclaje, preservando y recuperando energías latentes y otros activos productivos.

Los sistemas circulares maximizan también el número de ciclos consecutivos y/o el tiempo empleado en cada ciclo, aumentando la vida útil de los productos y favoreciendo la reutilización. A su vez, compartir recursos incrementa el grado de utilización de productos y de reutilización de subproductos y residuos valorizables.

Los sistemas circulares promueven también que los nutrientes biológicos vuelvan a entrar en la biosfera de forma segura, para que su descomposición genere materias valiosas susceptibles de ser incorporadas a un nuevo ciclo. En el caso de las materias biológicas, la esencia de la creación de valor consiste en la oportunidad de extraer valor adicional de los productos y materias mediante su paso en cascada por sucesivas etapas y aplicaciones. Cuando se trata de optimizar los ciclos técnicos, lo oportuno es intentar “imitar” los mecanismos de los ciclos naturales.

Al igual que en el sistema lineal, buscar el mayor rendimiento a todos los niveles resulta siempre ventajoso y útil, pero el proceso, en cualquier caso, requiere de continuas mejoras. A diferencia del sistema lineal, el sistema circular no pone en peligro ni la eficacia en términos absolutos, ni el rendimiento final.

**Principio 3:** Promover la eficacia de los sistemas detectando y eliminando del diseño los factores negativos externos. Esto incluye evitar, o al menos reducir, los posibles daños en ámbitos tales como la alimentación, la movilidad, la educación, la sanidad y el ocio, y controlar adecuadamente los factores externos de importancia, tales como el uso del suelo, la contaminación del aire y del agua, o el vertido de sustancias tóxicas (Espaliat Canu, 2017).

#### 1.4.3 El marco “RESOLVE”.

A través de investigaciones, estudios de casos prácticos y entrevistas con expertos, la Fundación Ellen MacArthur ha identificado un conjunto de seis acciones que pueden adoptar las empresas y los gobiernos de cara a la transición a la economía circular: Regenerate (regenerar), Share (compartir), Optimise (optimizar), Loop (establecer bucles), Virtualise (virtualizar) y Exchange (intercambiar). Aplicadas de manera combinada, estas acciones conforman el marco RESOLVE, término compuesto por las iniciales de las palabras inglesas que dan forma al marco (Espaliat Canu, 2017).

- Regenerate – Regenerar
  - Cambio a materias y energías renovables
  - Reclamar, retener y restablecer la salud de los ecosistemas
  - Devolver los recursos biológicos recuperados a la Biosfera
- Share – Compartir
  - Compartir activos (por ejemplo, coches, habitaciones, aparatos)
  - Reutilizar, participar en el mercado de segunda mano
  - Prolongar la vida útil mediante el mantenimiento, diseño sostenible, actualización, combatir la Obsolescencia Programada
- Optimise – Optimizar
  - Incrementar el rendimiento y la eficiencia del producto
  - Eliminar los residuos de la producción y de la cadena de suministro
  - Utilizar los macrodatos (Big Data), la automatización, la detección y dirección remotas
- Loop – Bucle
  - Refabricar productos o componentes
  - Reciclar materiales

- Digerir anaeróbicamente
- Extraer componentes bioquímicos de los residuos orgánicos
- Virtualise – Virtualizar
  - Desmaterializar directamente (por ejemplo, libros, CD, DVD, viajes)
  - Desmaterializar indirectamente (por ejemplo, compras por Internet)
- Exchange – Intercambiar
  - Sustituir materias viejas con materias avanzadas no renovables
  - Aplicar nuevas tecnologías (por ejemplo, impresión en 3D)
  - Elegir nuevos productos y servicios (por ejemplo, transporte multimodal)

El marco RESOLVE, constituye una herramienta útil para suscitar estrategias circulares e iniciativas de crecimiento tanto para empresas como para gobiernos. Estas medidas optimizan el uso de activos físicos, prolongan su vida, y propician el cambio de uso de recursos de fuentes de energía finitas a renovables (Casón Izquierdo, 2020).

El esquema del marco RESOLVE se enfoca en la aplicación de los principios y fundamentos de la economía circular, así como utilizando las herramientas, mecanismos, tecnologías y prácticas que ayudan a su puesta en marcha y desarrollo.

Este marco, reflejado esquemáticamente en la Figura 1.7, ofrece a las empresas y gobiernos una herramienta práctica para generar estrategias circulares e iniciativas de crecimiento. De distintas formas, estas acciones optimizan el uso de activos físicos, prolongan su vida, preservan su valor, y propician el cambio de uso de recursos de fuentes finitas a renovables. En este marco, cada acción en particular refuerza y acelera el rendimiento de las demás acciones, a la vez que se retroalimenta de las sinergias generadas por todo el conjunto (Espaliat Canu, 2017).

#### **1.4.4 Indicadores en Economía Circular.**

Una de las cuestiones que suscita debate en relación con la implantación global de la Economía Circular, es la necesidad de disponer de indicadores que permitan evaluar objetivamente los avances y resultados que se consiguen mediante este modelo, en términos de eficiencia y de eficacia en el uso de los recursos (Espaliat Canu, 2017).

Un indicador es definido como una variable cualitativa o cuantitativa que representa atributos presentes en un sistema. La medición de los indicadores en general es lo que contribuye a la toma de decisiones soportadas en datos; particularmente en la circularidad, los indicadores son los que contribuyen a medir el estado de aplicación de los principios de la Economía Circular de un producto, servicio o sistema (Hoof, et al., 2022).

Disponer de indicadores idóneos para evaluar los resultados de la adopción del modelo circular es un requisito imprescindible para las administraciones y para las empresas a la hora de tomar decisiones. Para lograr que dichos indicadores constituyan una herramienta de evaluación eficaz, deben aportar información objetiva que permita “medir” los avances realizados durante la etapa de implantación, y facilitar datos estadísticos para el adecuado seguimiento, la toma de decisiones y el control del proceso (Espaliat Canu, 2017).

Las primeras metodologías de medición de indicadores han sido propuestas por la Fundación Ellen MacArthur. Uno de los indicadores diseñados es el de circularidad de materiales, Indicador de Circularidad de Materiales, (MCI, Material Circularity Indicator) por sus siglas en inglés, enfocado a nivel de producto, el cual mide el flujo de entradas y salidas en una escala de 0 a 1 de menor a mayor. El indicador tiene en cuenta la cantidad de materiales y componentes nuevos, reciclados y reutilizados que entran en el proceso productivo, el tiempo y la intensidad de utilización del producto, teniendo en cuenta su mantenimiento y reparación, el destino del producto y sus componentes después de su uso, y con qué nivel de eficiencia puede ser reciclado. Esta medición, ha sido adoptada por empresas de diversos sectores, entre ellos figuran el tecnológico, alimentos y construcciones (Foundation, 2014).

El marco de supervisión para la Economía Circular está formado por 10 indicadores que acogen los principales elementos y son la visión para los puntos de apalancamientos fundamentales para el aumento de la circularidad, y se agrupan en cuatro etapas:

Etapas	Indicadores
<i>Producción y consumo:</i> fase crucial para la evaluación del proceso hacia la Economía Circular. Las ciudades e industrias	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Autosuficiencia de la UE en cuanto a materia prima.</li> <li>• Contratación pública ecológica.</li> <li>• Generación de residuos.</li> </ul>

deben minimizar la cantidad de generación de residuos, lo que a largo plazo pueda garantizar la autosuficiencia de materias primas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Residuos alimentarios.</li> </ul>
<b>Gestión de residuos:</b> para la transición hacia una Economía Circular resulta decisivo el conocimiento de la proporción de residuos que son reciclados para devolverlos al ciclo económico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tasas globales de reciclaje.</li> <li>• Tasas de reciclaje para flujos de residuos específicos.</li> </ul>
<b>Materias primas secundarias:</b> para concluir con el círculo, los materiales que son reciclados deben volver a introducirse en la economía en forma de nuevos productos y materiales con el objetivo de reemplazar a las materias primas vírgenes y así reducir la huella ambiental del producto final.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contribución de los materiales reciclados a la demanda de materias primas.</li> <li>• Comercio de materias primas reciclables.</li> </ul>
<b>Competitividad e innovación:</b> la Economía Circular contribuye a la creación de puestos de trabajo, además el desarrollo de nuevas tecnologías mejora el diseño de los productos facilitando así su reutilización.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Patentes.</li> <li>• Inversiones privadas, empleo y valor añadido bruto.</li> </ul>

**Tabla 1.2.** Indicadores y etapas en la Economía Circular. **Fuente.** Elaboración propia

#### **1.4.5 Herramientas de evaluación de Economía Circular.**

Desde la perspectiva de las organizaciones y empresas, la implementación de acciones que favorecen la transición hacia una Economía Circular y su comunicación a los diferentes agentes implicados, ha empezado a ser un objetivo y una prioridad en algunos casos (Vayona & Demetripu, 2020).

Para ello, es necesario que las organizaciones dispongan de herramientas que les permitan evaluar de forma sencilla y comunicar de forma clara e inequívoca los resultados sobre su transición hacia una Economía Circular. En los últimos años, se han desarrollado diferentes herramientas de diagnóstico cuyo objetivo es evaluar el nivel de circularidad de las organizaciones.

Para poder llevar a cabo una comparación exhaustiva, se diferencia entre herramientas cualitativas y cuantitativas.

- **Herramientas cualitativas**

Las herramientas cualitativas incluyen una serie de preguntas a contestar y dependiendo de las respuestas, se otorga una puntuación al nivel de circularidad de la organización evaluada. Primero se analiza el número de preguntas incluidas, el número de bloques en los que se agrupan las preguntas y la adaptabilidad de las de las preguntas a las características específicas de la organización a evaluar.

- **Herramientas cuantitativas**

Este tipo de herramienta de evaluación define indicadores cuantitativos para medir la implantación de la Economía Circular en la organización. Para el cálculo se suele utilizar información sobre los consumos de recursos y generación de residuos. como características específicas únicamente se considera la entrada de datos necesaria para el cálculo de los indicadores.

Como resultado de una búsqueda realizada se han identificado 5 herramientas de evaluación de economía circular

- **CircularTRANS:** Herramienta cualitativa desarrollada en 2020 por la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Mondragón que cuenta con la colaboración de

otras organizaciones de ámbito nacional. Se trata de una herramienta online que requiere contestar entre 132 y 172 preguntas, dependiendo de las características de la organización. Permite a la organización diagnosticar su nivel de transición hacia modelos circulares, seleccionar oportunidades de mejora, elaborar una hoja de ruta y generar un plan de acción (CircularTRANS, 2021).

- **Inedit:** Herramienta cualitativa de autoevaluación de la circularidad desarrollada en 2020 por Inedit Innova. Se encuentra implementada en la página web de la empresa. Requiere contestar entre 12 y 22 preguntas, dependiendo de las características de la organización (Inedit, 2020).
- **TECNUN:** Herramienta cualitativa de diagnóstico de Economía Circular desarrollada en 2017 por la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Navarra. Esta herramienta está implementada en un formulario de Google. Requiere contestar entre 20 y 38 preguntas, dependiendo de las características de la organización (TECNUN, 2021)
- **Acodea:** Herramienta cuantitativa para el cálculo del Indicador Material de Circularidad, siguiendo la metodología desarrollada por la fundación Ellen MacArthur. Desarrollada por la Fundación Acodea (Agriagencia de España) con el apoyo del Ministerio para la Transición Ecológica (Acodea, 2019).
- **CEEI:** Herramienta cualitativa de autodiagnóstico de la sostenibilidad en las organizaciones. Coordinada por el Centro Europeo de Empresas Innovadoras de Valencia y la Universidad de Valencia y financiada por la Generalitat Valenciana y el IVACE (CEEI, 2021).

#### **1.4.6 Modelos, Estrategias, Políticas utilizadas en Economía Circular.**

##### **1.4.6.1 Modelos utilizados en Economía Circular.**

La Economía Circular no es simplemente un parche que poner a los procesos productivos para ser menos dañinos, sino que va de aprovechar el crecimiento para impulsar cambios positivos. Este aprovechamiento pasa por la visualización de la estrategia circular de la empresa, la cual viene en gran medida determinada por el desarrollo y ejecución de etapas. Unas etapas, que si son exitosas pueden cristalizar en alguno de los nuevos modelos de negocios, subyacentes a la circularidad

Los modelos de Economía Circular cambian la forma en que una empresa opera en el mercado, reduciendo el impacto medioambiental y social derivado de la producción de productos o servicios buscan:

- Eliminar los residuos y reducir la contaminación.
- Mantener el uso de materiales y productos.
- Regenerar el medio ambiente.

<b>Modelos de negocio de Economía Circular</b>	<b>Principios</b>	<b>Ejemplo</b>
<i>Suministros circulares</i>	Uso de energías renovables o materiales reciclables en lugar de recursos no renovables, es especialmente relevante para empresas que trabajan con materias primas percederas, sustituyéndolas por insumos reciclables o biodegradable	Ecovative Design, una compañía de biomateriales enfocada en el desarrollo de materiales innovadores a partir de procesos de crecimiento natural. Aquazone, compañía finlandesa que ha desarrollado un método para convertir las aguas residuales en fertilizantes. LanzaTech, una empresa de Nueva Zelanda que utiliza microorganismos para convertir el monóxido de carbono en etanol y precursores del plástico.
<i>Recuperación de recursos</i>	Se basa en la obtención de energía o recursos a partir de los residuos o del deshecho.	Adidas lanzó en 2016 su primera línea de zapatos producidos con material Parley Ocean Plastic obtenido reciclando los residuos plásticos que se encuentran en nuestros mares y océanos. Recompute, empresa que pone a la venta ordenadores hechos con productos ecológicos y materiales de carbón reciclado.

<b><i>Modelo de prolongación de la vida útil del producto</i></b>	Se trata de actualizar, reparar y revender para una mayor duración de los productos.	Wallapop nació con aspiración de hacer un mundo más sostenible y colaborativo, lanzando un mercadillo virtual. Percentil creó una plataforma de ventas de prendas de segunda mano.
<b><i>El modelo de uso compartido de plataformas</i></b>	Se propone fomentar la colaboración entre usuarios para que compartan el uso de productos	Farmidable, es una empresa que pone en contacto a agricultores, ganaderos y/o pequeños productores con consumidores, sin intermediarios. Tutellus, plataforma colaborativa para enseñar y aprender en español a través de videocursos gratuitos.
<b><i>El modelo de producto como servicio</i></b>	Los clientes bajo este modelo “alquilan” el producto, lo usan y lo devuelven.	Drivy, que permite alquilar tu vehículo cuando no lo estás utilizando, se ha convertido en el servicio de autos compartidos más grande de Europa. Splacer, es una plataforma que ofrece a los usuarios, una lista de locales (casas, galerías y oficinas desocupadas) a disposición para realizar todo tipo de celebración o evento (Pérez, 2019).

**Tabla 1.3.** Modelos de negocio de Economía Circular. **Fuente.** Elaboración propia

#### **1.4.6.2 Estrategias utilizadas en Economía Circular.**

La Economía Circular en sí, es una estrategia que busca generar crecimiento económico optimizando el uso de recursos, incrementando la vida útil de los productos y reduciendo la generación de contaminación e impactos ambientales negativos.

Detectaron que existen 9 estrategias principales que engloban a casi todas las actividades de la Economía Circular. Conocido como las 9RY dada su importancia, estas estrategias han sido nombradas como las “9 R” de la Economía Circular. El objetivo de las estrategias es

evitar que un producto, componente o materia prima acabe en un vertedero o incinerado antes de tiempo; es decir, alargar la vida y optimizar la vida y valor de los productos, componentes y materiales el máximo tiempo posible. Estas estrategias se encuentran mejor explicadas en la tabla 1.4.

<b>Estrategia</b>	<b>Objetivo</b>
<b>Rechazar.</b>	Renunciar a productos, o algunos de sus componentes, que sencillamente no hacen falta, o bien pueden redefinirse de tal forma que no sea necesario producirlos en primer lugar.
<b>Repensar</b>	Lograr un uso más intensivo de los productos a través de, por ejemplo, modelos de plataformas de servicios, reutilización, economía colaborativa o de la puesta en circulación en el mercado de productos multifuncionales.
<b>Reducir</b>	Incrementar la eficiencia en la fabricación y el uso de los productos al consumirse menos recursos naturales y materiales. Una de las características de los productos fabricados de acuerdo con los principios de economía circular es que, siempre que sea posible, se deben emplear energías renovables en su proceso de fabricación.
<b>Reutilizar</b>	Dar un nuevo uso a un producto que aún se encuentra en buenas condiciones y cumple su función original con el mismo objetivo para el que fue concebido.
<b>Reparar.</b>	Reparar y mantener un producto defectuoso, de modo que pueda volver a usarse para su función original.
<b>Restaurar</b>	Restaurar y poner al día productos antiguos, siguiendo un sistema de calificación determinado.
<b>Refabricar.</b>	Usar partes de productos descartados en otros nuevos que cumplen la misma función. Refabricar un producto supone recogerlo, analizar su estado, desmontarlo, reacondicionar y reemplazar piezas y componentes, volver a ensamblarlo, comprobar su nivel de calidad y revenderlo en un estado seminuevo.
<b>Redefinir</b>	Tomar un producto innecesario, o algunas de sus partes, y colocarlo en otro nuevo con una función distinta. Un producto desgastado por el uso o que cumple una función obsoleta puede ser redefinido para otorgar una nueva vida a sus componentes o materiales.

<b>Reciclar</b>	Consiste en la recuperación de material de residuos que puedan procesarse de nuevo en la fabricación de nuevos productos, materiales o sustancias, para objetivos similares a los de sus productos originales o no. También incluye la reprocesamiento de materia orgánica, pero no la recuperación de energía ni el procesamiento de material que se utiliza como fósiles o para operaciones de relleno.
-----------------	---

**Tabla 1.4.** Estrategias de Economía Circular. **Fuente.** Elaboración propia

Existen a nivel global otras estrategias de implementación de Economía Circular, una de ellas es la Estrategia Nacional de Economía Circular que ha sido desarrollada por Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en conjunto con el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo y el Departamento de Planeación Nacional y utiliza como punto de referencia la definición propuesta por Fundación Ellen MacArthur, incluye y construye también sobre otros documentos de política pública y marco normativo de políticas de desarrollo económico y ambiental (Saer & González, 2019).

#### **1.4.6.3 Políticas utilizadas en Economía Circular.**

En América Latina existen algunos ejemplos de iniciativas de innovación social que han contado con el apoyo de los Gobiernos locales: Argentina, Colombia y Chile han integrado programas de innovación social a los ministerios gubernamentales. Por ejemplo, en 2012, el Gobierno colombiano fundó el Centro de Innovación Social de Colombia, que forma parte del Departamento para la Prosperidad Social; en 2013, Argentina lanzó el Programa Nacional de Tecnología e Innovación Social. La mayoría de los países de América Latina y el Caribe han adoptado una serie de medidas políticas tendentes a facilitar las transiciones hacia la Economía Circular como son el establecimiento de hojas de ruta y estrategias nacionales de Economía Circular; políticas de manejo de residuos; Responsabilidad Extendida del Productor (REP); eficiencia de los recursos materiales y objetivos de reciclaje; políticas fiscales (incluyendo impuestos, incentivos y eliminación de subsidios) y políticas de productos (incluyendo diseño ecológico, prohibición de productos no reutilizables y extensión de la vida útil de productos) (Urrutia, 2019).

Las estrategias de Economía Circular de los diferentes países buscan generar nuevas oportunidades por medio del cierre de ciclos de materiales.

#### **1.4.7 Ventajas económicas de la estrategia circular.**

##### **➤ Crecimiento económico**

El valor del crecimiento económico derivado de la adopción de la economía circular, definido según el PIB, se obtiene principalmente como resultado de la combinación de los mayores ingresos derivados de las actividades circulares emergentes, y de la reducción de los costes de producción por la utilización más productiva de los insumos. Se incluye el incremento del gasto y del ahorro que resulta del aumento de la renta familiar, lo que a su vez se traduce en el incremento de la remuneración de la mano de obra. En una senda de desarrollo económico circular, se estima que el PIB europeo podría crecer hasta un 11% hacia el año 2030, y alcanzar un 27% en el año 2050, si se le compara con los porcentajes respectivos del 4% y el 15% que se lograrían manteniendo el actual escenario de desarrollo

##### **➤ Ahorros netos de costes de materias primas.**

De acuerdo con los nuevos modelos de producción, diversos análisis e investigaciones permiten asegurar que, en los sectores de manufactura de productos complejos de duración media, la posibilidad de ahorro neto anual de costes de materias primas es considerable. En el caso de los bienes de consumo de alta rotación, como es el caso de los alimentos, se calcula que, si se adoptan modelos de gestión basados en la economía circular, el potencial adicional de beneficios puede ser de gran importancia en todo el mundo.

##### **➤ Creación de valor**

El modelo circular, como mecanismo para repensar el actual modelo de desarrollo, demuestra ser un poderoso marco de impulsión, capaz de generar soluciones creativas y de estimular la innovación.

La Economía Circular ofrece a las economías desarrolladas:

- Una vía de crecimiento estable y resistente.
- Una respuesta para reducir la dependencia de los recursos primarios y finitos.
- Una forma de atenuar la exposición a situaciones críticas de precios de los recursos.

La economía circular desplazará el uso de materiales intensivos en energía y de extracción primaria. Creará un nuevo sector dedicado a las actividades de ciclo inverso para permitir la

reutilización, la restauración, la refabricación y el reciclaje de los componentes técnicos. En el ámbito de los ciclos biológicos, favorecerá procesos tales como la digestión anaeróbica, el compostaje y el uso en cascada de residuos y subproductos de tipo orgánico, tales como los derivados de las actividades agroalimentarias. Las economías emergentes se podrán beneficiar de la adopción de la economía circular, al no verse atrapadas por determinadas tendencias tecnológicas que las condenen a ser cautivas de modelos obsoletos poco ajustados a sus condiciones y necesidades reales.

La aplicación en la práctica de los principios y herramientas de la economía circular permite impulsar cuatro fuentes generadoras de valor, cuyos efectos refuerzan las ventajas económicas del modelo de desempeño basado en sus fundamentos.

<b>Fuentes generadoras de valor</b>	
<b>Círculo interior</b>	Cuanto más estrecho sea el círculo, más valiosa será la estrategia. Reparar y mantener un producto preserva la mayor parte de su valor, cada uno de los componentes puede reutilizarse o volver a fabricarse. Esto preserva más valor que el simple reciclaje de los materiales.
<b>Circulación durante más tiempo</b>	Se refiere al número de ciclos consecutivos y/o al tiempo de permanencia de los productos en cada ciclo. es posible ampliar el tiempo de circulación reutilizando el producto varias veces, o ampliando su período de vida útil. Cada ciclo prolongado permite reducir la materia prima, la energía y la mano de obra que conllevaría crear un nuevo producto o componente
<b>Uso en Cascada</b>	Se refiere a la reutilización diversificada a lo largo de toda la cadena de valor. Esta opción permite evitar la introducción de recursos nuevos en el circuito productivo, y reutilizar en cambio materiales de valor antes de ser reincorporados de

	forma segura a la biosfera cuando se ha aprovechado todo su potencial como recurso.
<b>Insumos Puros</b>	Las ventajas de utilizar materias primas “limpias”, sean nuevas, recicladas o recuperadas, radica en que el flujo de materiales no contaminados favorece e incrementa la eficiencia y la eficacia durante las etapas necesarias para su recogida y redistribución

**Tabla 1.5.** Fuentes generadoras del valor. **Fuente.** Elaboración propia

### ➤ Creación de empleo

Los nuevos modelos de producción, sobre todo aquellos que implican el uso de las avanzadas tecnologías derivadas de la digitalización y de la automatización, están destinados a generar empleos de alta especialización. La Economía Circular trae también consigo la generación de mayor empleo local, especialmente en puestos de trabajo de baja y media especialización, lo que permite afrontar uno de los problemas más serios que afectan a las economías de los países desarrollados.

Estos nuevos nichos de empleo pueden inicialmente parecer modestos en cuanto a su impacto, y manifestarse solamente en mercados muy específicos. Pero es previsible que en los próximos quince años los nuevos modelos de negocio representarán ventajas competitivas importantes, porque en sí mismos serán capaces de crear interesantes cuotas de valor añadido por cada unidad de recurso utilizada. La selección natural favorecerá modelos híbridos y ágiles capaces de extender rápidamente el concepto circular a mayor escala, ya que estarán mejor adaptados a un planeta que necesita cambios, y que está siendo transformado de modo sustancial por la propia sociedad civil.

Hoy es posible afirmar que las nuevas oportunidades laborales no se limitarán a la refabricación y al incremento productivo de las grandes corporaciones, puesto que los efectos positivos de la economía circular sobre el empleo son también susceptibles de obtener en entornos mucho más amplios y diversos. El empleo guardará estrecha correlación con la innovación y con la competitividad, hecho que en principio fortalecerá el escenario circular. Implementando modelos inspirados en la circularidad, se estima que en Europa será posible

aumentar la productividad de los recursos, incrementar el PIB y generar una cantidad importante de nuevos empleos, tomando como referencia el horizonte del año 2030.

➤ **Innovación**

Las iniciativas de sustituir los productos fabricados de modo lineal por bienes circulares por “diseño”, así como la creación de redes logísticas inversas y otros sistemas de apoyo a la economía circular, representan poderosos estímulos para generar nuevas ideas.

Entre las ventajas que origina una economía innovadora basada en el ejercicio del “ecodiseño” y de la “ecoinnovación”, se incluyen mayores tasas de desarrollo tecnológico, empleo de materias primas derivadas del reciclaje y la recuperación, creación y formación de mano de obra especializada, mejora de la eficiencia energética, y oportunidades de optimizar la competitividad y la rentabilidad de las empresas. Todo proceso de ecoinnovación ha de desarrollarse estimulando la colaboración entre empresas y entre diferentes sectores productivos, generando así sinergias aprovechando el intercambio de opciones en las cuales se apliquen los principios de la circularidad (Espaliat Canu, 2017).

**1.4.8 Ventajas ambientales de la Economía Circular.**

➤ **Prevención de riesgos y gestión equilibrada de los recursos naturales**

La Prevención constituye una herramienta consolidada que ha demostrado su validez en el entorno más inmediato de las personas, como es el ámbito de la seguridad y de la salud laboral, sus principios deben ser aplicados de modo amplio y transversal a todos y cada uno de los aspectos que permitan garantizar la estabilidad del planeta y la calidad de vida de sus habitantes.

Se cuenta actualmente con medios, métodos y sistemas que los avances tecnológicos ponen a disposición para ser empleados con éxito en la prevención de este tipo de calamidades, entre los cuales, por citar los más conocidos, están la meteorología, las herramientas de geolocalización vía satélite, las técnicas avanzadas de gestión 48 agropecuaria, forestal y de recursos hídricos, y las opciones de formación, divulgación y sensibilización pública por la vía de Internet y de las redes sociales.

Aplicada con proyección transversal en el ámbito planetario, la prevención en materias ambientales constituye para los países industrializados una valiosa alternativa para frenar el deterioro de los recursos de la tierra, y asegurar por esta vía su sostenibilidad. También representa una herramienta reactiva de gran valor a la hora de corregir los efectos negativos a los cuales han conducido modelos de desarrollo y de progreso.

Una herramienta reactiva de gran valor a la hora de corregir los efectos negativos a los cuales han conducido modelos de desarrollo y de progreso, este enfoque no solo debe ser aplicado a la gestión de los recursos, sino también a todo lo referente a los residuos. Reducir o restringir el uso de sustancias peligrosas es también un requisito previo para la implantación de la economía circular, ya que supone favorecer de modo prioritario el empleo de insumos “puros” y la recirculación de materiales valiosos.

➤ **Reducción de emisiones de Dióxido de Carbono**

En Europa, a través de estudios llevados a cabo por la Fundación Ellen MacArthur. Esto significaría la reducción del 48% de las emisiones de dióxido de carbono relacionadas con la movilidad, los sistemas de alimentación y el entorno construido, cifra que podría elevarse hasta valores superiores al 80% en el horizonte del año 2050.

➤ **Reducción del consumo de materias primas**

Estudios específicos estiman que, orientando la producción por la senda del desarrollo económico circular, es posible reducir el consumo de materias primas en un 32% de aquí al año 2030, y en un 53% de aquí al año 2050, con respecto a la actualidad.

➤ **Mejora de la productividad y de la calidad del suelo**

El deterioro del suelo supone en todo el mundo un coste estimado anual de 40.000 millones de dólares, sin tener en cuenta los costes ocultos derivados del aumento del uso de fertilizantes, de la pérdida de biodiversidad y de la degradación de entornos paisajísticos singulares. Aplicando los principios de la economía circular es posible incrementar la productividad del suelo, reducir los residuos en la cadena de valor de la alimentación, y recuperar el valor de la tierra y del suelo como activos.

Al movilizar el material biológico a través de procesos de compostaje o de digestión anaeróbica para luego devolverlo al suelo, la economía circular permite reducir la necesidad de reposición mediante el empleo de nutrientes adicionales. Por este conducto, el uso sistemático de los residuos orgánicos como fertilizantes puede ayudar a regenerar el suelo y a sustituir los abonos químicos en cantidades dignas de consideración. Si se actúa de acuerdo con un enfoque económico circular y de “regeneración dinámica” en los sistemas de alimentación, el consumo de fertilizantes sintéticos en Europa puede llegar a reducirse hasta en un 80%

➤ **Reducción de externalidades negativas**

La economía circular propicia la gestión eficaz de las externalidades negativas, tales como el mal uso del suelo, la contaminación acústica, del aire y del agua, el vertido de sustancias tóxicas, y el cambio climático. Un claro ejemplo de externalidad negativa lo constituye la pérdida de tiempo ocasionada por la congestión del tráfico de vehículos en ciudades y carreteras.

La adopción de modelos circulares en el ámbito de la movilidad y del transporte puede beneficiar a los ciudadanos al inducir, mediante estrategias adecuadas, nuevos 51 modelos de comportamiento en este terreno, así como en el del diseño urbanístico. Se estima que por esta vía es posible reducir el coste del tiempo perdido como consecuencia de las congestiones en un 16% en el año 2030, y en casi un 60% en el año 2050 (Espaliat Canu, 2017).

#### **1.4.9 Ventajas empresariales de la Economía Circular.**

➤ **Incremento de la productividad y de la competitividad**

Eliminar residuos de la cadena industrial mediante la reutilización de los materiales a su máximo, permite a las empresas reducir los costes de producción y la dependencia de los recursos primarios.

Adoptando los principios de la economía circular, las empresas se benefician de ahorros sustanciales netos en materias primas, y de la reducción de los riesgos de suministro y de la volatilidad de los precios. Esto les permite incrementar la motivación para desarrollar la

innovación y generar puestos de trabajo, mejorar la productividad y la competitividad, y garantizar la estabilidad de la economía a largo plazo.

➤ **Generación de beneficio**

Las empresas a título individual pueden reducir el coste de los insumos y, en algunos casos, generar flujos de beneficios totalmente nuevos, si funcionan de acuerdo con esquemas circulares.

Estudios recientes demuestran que la adopción de enfoques de economía circular en relación con la fabricación de productos complejos de duración media y de bienes de consumo de alta rotación, puede contribuir a generar las siguientes ventajas:

- El coste de refabricación de teléfonos móviles puede reducirse en un 50 % por dispositivo si la industria fabrica aparatos con componentes más fáciles de separar, si se propicia el ciclo inverso, y si se ofrece a los usuarios incentivos para incorporarlos al circuito de reciclaje.
- Las lavadoras de ropa de alta gama resultan más accesibles para la mayoría de los hogares si se alquilan en lugar de adquirirse, ya que los clientes ahorran con esta opción aproximadamente un tercio por ciclo de lavado, y el fabricante incrementa en torno a un tercio su beneficio.
- Puede generarse un flujo importante de ingresos si se procesan los residuos de alimentos de los hogares, de la hostelería y de la restauración.
- Es posible obtener un beneficio significativo en la elaboración de cerveza si los salvados de las cerveceras se venden para ser utilizados como fertilizantes o combustible.
- Por otro lado, los costes de envasado, procesamiento y comercialización de cerveza pueden reducirse alrededor de un 20 % si se usan envases de cristal retornables y reutilizables.
- Se estima que cada tonelada de ropa usada, recogida y clasificada puede generar importantes ingresos y beneficios a través de su reutilización.

➤ **Reducción de la volatilidad de los precios e incremento de la seguridad de los suministros.**

El paso a la economía circular supone un menor uso de materias primas vírgenes y un mayor uso de insumos reciclados. También se reduce la amenaza de interrupción de las cadenas de suministro por culpa de desastres naturales o desequilibrios geopolíticos, ya que la descentralización de los proveedores ofrece la posibilidad de contar con fuentes alternativas de recursos productivos.

➤ **Generación de demanda de nuevos servicios empresariales.**

La economía circular puede generar la demanda de nuevos servicios empresariales:

- Recogida y logística inversa que aumenten la vida útil de los productos que se reintroducen en el sistema.
- Comercialización a través de plataformas que permitan prolongar la vida útil y la reutilización de los productos, y que faciliten la reincorporación de residuos y subproductos a los circuitos de fabricación.
- Fabricación de nuevas piezas y componentes, y reacondicionamiento de productos que requieran técnicas y conocimientos especializados.

La recogida, el desmontaje, el reacondicionamiento de productos, la reintegración en el proceso de fabricación, y el poner los artículos al alcance los usuarios, requieren de competencias especializadas y del conocimiento detallado de los procesos.

➤ **Estímulo de mayor interacción con los clientes**

Las soluciones circulares ofrecen a las empresas nuevas formas para interactuar de forma creativa con los clientes. Ciertos modelos de negocio, tales como el alquiler o el contrato de arrendamiento (“leasing”, “renting”) establecen una relación a más largo plazo entre la empresa y sus clientes, ya que el número de contactos entre ellos se incrementa a lo largo de toda la vida útil del producto o del servicio. Estos esquemas comerciales ofrecen a las empresas la oportunidad de poder conocer las pautas de uso que pueden conducir a un ciclo íntegro de productos mejorados, a un mejor servicio y a una mayor satisfacción del cliente (Espaliat Canu, 2017).

#### **1.4.10 Ventajas de la economía circular para la sociedad y para los ciudadanos.**

##### **➤ Incremento de la renta disponible.**

El análisis de tres de los sectores más importantes para la sociedad: movilidad, alimentación y entorno de la construcción, permite llegar a la conclusión de que el desarrollo económico circular puede incrementar de modo significativo la renta disponible de una familia media como resultado de la reducción del coste de los correspondientes productos y servicios, y de la conversión de tiempo improductivo en productivo. Este hecho se hace patente si se tiene en cuenta, por ejemplo, la reducción de los costes derivados de la pérdida de tiempo en desplazamientos ocasionada por la congestión del tráfico.

##### **➤ Aumento de la calidad y reducción del precio de productos y servicios.**

La mejor calidad y el mayor beneficio económico para los clientes pueden obtenerse aprovechando la mejor relación calidad / precio que ofrecen los modelos circulares. Las opciones de elección por parte de los ciudadanos aumentan, ya que las empresas ofrecen la posibilidad de personalizar los productos o servicios para satisfacer mejor las necesidades “reales” de los clientes, estimulando la mejor adaptación de la oferta a una demanda más objetiva, y reduciendo las posibilidades de compra compulsiva.

##### **➤ Reducción de la obsolescencia.**

Los productos fabricados para durar o para ser reutilizados repercuten en el presupuesto de los ciudadanos y en su calidad de vida. Si el cliente evita la obsolescencia, podrá reducir considerablemente los costes totales de propiedad y dispondrá de mayor comodidad, ya que evitará las dificultades que conllevan las reparaciones y las devoluciones.

##### **➤ Mejoras en prevención, seguridad y salud personal y ambiental.**

Es un hecho que la contaminación del aire y del agua, la deficiente gestión de residuos y de los recursos hídricos, el vertido incontrolado de aguas residuales y la carencia de infraestructuras y servicios de saneamiento y potabilización adecuados, favorecen la dispersión de agentes contaminantes, a la vez que constituyen factores de riesgo para la salud y el bienestar de la población.

Es igualmente evidente que el deterioro del paisaje y del ambiente físico, manifestado como consecuencia de la degradación de bosques, lagos y cuencas hidrográficas, y el impacto visual que genera la gestión deficiente e incontrolada de residuos, son también fenómenos que erosionan considerablemente la salud ambiental, así como el bienestar y el estado emocional de las personas.

Los efectos del cambio climático, la necesaria transición hacia una economía baja en carbono, las innovaciones tecnológicas y de los procesos de producción, el crecimiento demográfico o los cambios en los modelos de consumo, provocan situaciones que causan impacto social y riesgo de profundas desigualdades. Pero también hay que reconocer que hoy en día se dispone de herramientas que permiten evitar, o al menos controlar de modo eficaz, estos y otros problemas y agresiones, que, en caso contrario, pueden poner en entredicho la posibilidad de garantizar la sostenibilidad de un ambiente acogedor para la sociedad.

La preocupación y la sensibilidad de la sociedad en relación con la seguridad y la prevención de riesgos generan una creciente demanda de recursos y servicios especializados en este terreno. Alcanzar, y luego mantener, niveles óptimos en materia de seguridad e higiene ambiental, ha de ser el objetivo fundamental de la prevención. Es sobre la base de esta premisa que se ha de proyectar cualquier estrategia de prevención basada en los principios de la economía circular, pero este principio se ha de aplicar de modo transversal y en el sentido más amplio del término.

La economía circular, utilizada como herramienta de prevención, puede generar considerables ventajas, tanto desde el punto de vista económico, como del medio ambiente, de la higiene y de la salud pública. Esta afirmación no es una simple declaración de intenciones idealistas, ni la expresión de una utopía, sino una constatación basada en argumentos objetivos producto de iniciativas innovadoras que ya han demostrado sus frutos en la práctica (Espaliat Canu, 2017).

### **1.5 Ingeniería Química y Economía Circular.**

A pesar de los múltiples beneficios e impactos positivos a nivel económico identificados para la industria química, se señala como una de las industrias con mayor consumo de recursos naturales no renovables y como uno de los mayores contaminantes globales.

Sin embargo, se puede constatar su compromiso en la búsqueda de estrategias que permitan un desarrollo más sostenible, enfocándose por una parte en el manejo racional de sustancias químicas y por otra, en la implementación de estrategias de circularidad que permitan reducir residuos y crear valor para la sociedad (Cangrejo Castro, 2020)

La industria química, ha desarrollado en los últimos años nuevos proyectos y tecnologías que han mejorado significativamente la eficiencia de los recursos y reducido la cantidad de residuos producidos en las cadenas de valor de los sectores de mayor peso en nuestra economía.

Y es que la industria química contribuye ya al desarrollo de una EC de muchas maneras. Además de que es esencial para desarrollar los avances que permitan cubrir las necesidades básicas de los seres humanos, como la salud, la alimentación, o el acceso a la energía y al agua potable, proporciona procesos productivos más eficientes para maximizar el uso de los recursos, incluyendo materias primas primarias y secundarias, agua y energía, materiales que permiten desarrollar productos más sostenibles en todo su ciclo de vida y permitiendo mejores oportunidades de recuperación. Además, la utilización de materias primas alternativas y renovables, como la biomasa o el CO<sub>2</sub>, que puede ser capturado y usado para producir materiales, productos químicos y combustibles, es otra forma de promover la Economía Circular optimizando los recursos.

La industria química está comprometida, además, a continuar invirtiendo y trabajando en favor de la sostenibilidad y de este nuevo modelo económico. Pero para favorecer la transición de nuestra economía hacia un verdadero modelo circular, es necesario trabajar también en la eliminación de barreras técnicas y legales que dificulten la inversión de las empresas en nuevas áreas y tecnologías emergentes, así como involucrar a todos los agentes de la cadena: empresas, administraciones y consumidores (Valero, 2017).

El Ingeniero Químico, como parte del proceso de investigación, diseño y producción, que se lleva a cabo en las plantas industriales es un elemento clave en el desarrollo de la Economía Circular. Gracias a estos profesionales es posible cambiar la manera de hacer las cosas, si se crea una conciencia, para dejar de pensar en producir en serie y empezar a pensar en cómo producir mejor

### **1.6 Implementación del modelo de Economía Circular a nivel industrial.**

Aplicar la Economía Circular en las empresas e industrias genera rentabilidad para las compañías y para el planeta. La forma en que diseñamos, fabricamos, usamos y administramos las cosas al final de su vida útil tiene una enorme importancia e implicaciones para todo, desde nuestra demanda sobre los recursos de la naturaleza, nuestro impacto sobre el cambio climático y la cantidad de residuos que generamos.

Considerando los beneficios potenciales de la Economía Circular, es importante analizar su implementación y el modo en que podría generar oportunidades en la industria.

La mayoría de las industrias pueden mejorar por su cuenta el resultado, con acciones específicas para reconfigurar los ciclos de vida de los productos, teniendo como base la manera de hacerlos sustentables.

Si se cambia a energías y materiales renovables, promoviendo el intercambio de productos o prolongando la vida útil mediante el mantenimiento y el diseño, mejorando la eficiencia del producto/servicio, eliminando los desechos en las cadenas de suministros, manteniendo los componente y materiales en bucles cerrado a través de la remanufactura y el reciclaje, sustituyendo materiales antiguos por nuevos materiales de origen renovable o aplicando las nuevas tecnologías, la mayoría de las industrias mejorarían el rendimiento y reducirían coste (Mallón, 2019).

Implementar el modelo circular en las industrias no se basa en una única fórmula, todas y cada una de las estrategias, están dentro de lo que es la Economía Circular, la diferencia radica en quien toma la iniciativa (gobierno, empresa, cliente) y cual se adapta mejor a las necesidades y capacidades de cada agente.

Aplicar criterios de Economía Circular en el sector industrial supone extender la vida útil de los productos, haciendo más hincapié en el rediseño, la refabricación y el reciclaje, que forman el núcleo de la producción en ciclo cerrado.

Sin lugar a dudas, para alcanzar resultados destacables, la adopción de los principios de la Economía Circular en el sector industrial requiere de forma forzosa modificar los procesos productivos, mediante la adopción e incorporación de nuevos modelos de negocio y

distribución, el aprovechamiento de las ventajas que ofrecen los avances tecnológicos, la digitalización y la robótica (Espaliat Canu, 2017)

La Economía Circular está siendo implementada en diversos ámbitos y lugares, con un importante recorrido aún por delante. Concretamente, la industria alimentaria representa uno de los sectores que más necesita una transformación hacia la Economía Circular, y a la vez, uno en los que será más difícil implementar dicha transformación.

Afortunadamente, la transformación ya se ha iniciado y existe cada vez más conciencia en la introducción del enfoque circular en el sector alimentario y en aumentar la investigación sobre los beneficios que éste puede aportar (Priede Bergamini, 2019).

El crecimiento exponencial de la población mundial trae consigo consumo exponencial de alimentos, esto no sería un problema si la forma de producir, consumir y desechar esta comida se hiciera de manera responsable; en la actualidad se vuelve necesario practicar métodos de Economía Circular encaminados a disminuir el desperdicio de alimentos, ya sea previa o posterior a su consumo.

Cada industria puede variar la forma en que crea y administra la Economía Circular, en el sector alimentario, las tres etapas de producción, consumo y gestión de residuos necesitan una atención especial, la cual debe ir en paralelo con la administración de las ciudades.

Una economía alimentaria circular podría reducir anualmente las emisiones de gases de efecto invernadero en cuatro mil millones de toneladas de  $CO_2$ ; evitar la degradación de 15 millones de hectáreas de tierra cultivable y 450 billones de litros de agua potable. Además, se podrían ahorrar más de 500 mil millones de dólares en problemas de salud causados por el uso de pesticidas y presentar mejoras importantes en la calidad del aire y la tierra. Las ciudades, por su parte, podrían también beneficiarse de nuevas oportunidades económicas por valor de más de 700 mil millones de dólares.

## ***CAPÍTULO II. PROPUESTA METODOLÓGICA.***

En este capítulo se inicia con una breve caracterización de la Empresa GydeMa de Cienfuegos. Luego se realiza una descripción detallada de los pasos que conducen a la evaluación de la entidad. Fundamentando así a lo largo del capítulo la obtención de datos, uso de símbolos y ecuaciones. Por último, se realiza el diagnóstico de circularidad a la empresa.

### **2.1 Caracterización de la Empresa.**

#### **2.1.1 Caracterización de la Empresa GydeMa de Cienfuegos con enfoque de procesos.**

La actual Empresa Productora y Comercializadora de Glucosas, Almidón y Derivados del Maíz, es conocida comercialmente con el nombre de GydeMa, esta fábrica fue puesta en marcha en enero de 1981 luego de un largo proceso inversionista que duró 6 años. Esta fábrica es la única de su tipo en el país y en ese entonces fue creada para la producción de Glucosa ácida que se utilizaría como materia prima principal para la producción de caramelos y la exportación de estos a países del Consejo de Ayuda Mutua Económica (CAME).

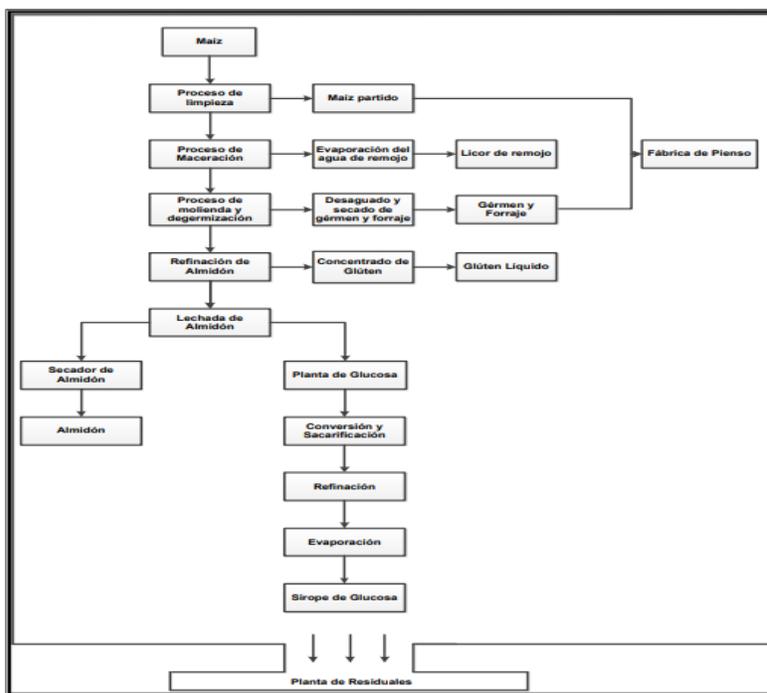
Se encuentra localizada en la Zona Industrial # 2, en el Reparto Pueblo Griffó de la Ciudad de Cienfuegos, provincia de Cienfuegos, lo que equivale exactamente a ubicar en la periferia noreste de la ciudad cabecera de este territorio. Limita al norte con la Empresa DIVEP, al este con la Fábrica de Hielo, Almacenes de Productos Frescos y con la Línea de Ron HRL, por el oeste con la Carpintería en Blanco y el Taller de Ómnibus Escolares, y limitando al sur con el asentamiento poblacional de Pueblo Griffó.

Su objetivo es producir, a partir del maíz como materia prima fundamental, una amplia gama de productos derivados de este como: almidón de maíz, sirope de glucosa por vía ácida, sirope de glucosa por vía enzimática; así como otros productos alternativos: polvo para hornear, natilla en polvo, desayuno de chocolate, sirope para refrescos, mezclas para panetelas entre otros. El almidón de maíz, producto final objetivo de esta investigación, se obtiene a partir de la extracción en el propio grano de maíz. Este producto natural que se obtiene en la fábrica tiene gran importancia económica debido a que es la única de su tipo en nuestro país.

La Empresa GydeMa Cienfuegos opera con una estructura de dirección lineal– funcional. Se toma como base la estructura lineal, pero en cada división, de cada nivel, se crean órganos

funcionales con la visión y misión de la empresa, conectada con los objetivos estratégicos y de trabajo.

El proceso tecnológico de la Empresa Glucosa Cienfuegos se encuentra dividido en tres Plantas: la Planta de producción de almidón, la Planta de producción de sirope de glucosa y la Planta de mezclas secas. Además de contar con un sistema de facilidades auxiliares comunes a todas las plantas como son: el sistema de generación de vapor, que dispone de dos calderas de tubos de fuego con una capacidad de 8 y 12 toneladas de vapor por hora respectivamente. El abasto de agua potable se realiza mediante un complejo de cisternas con una capacidad de almacenamiento de 4500 m3 y un tanque elevado desde el cual por gravedad se abastece la industria. Así como una planta de tratamiento de residuales, donde se procesan los residuales líquidos generados en el proceso industrial más los albañales. A continuación, en la figura 2.1 se muestra el diagrama de flujo de toda la planta de Glucosa.



**Figura 2.1.** Proceso tecnológico de la Fábrica de Almidón y Glucosa. UEB Glucosa Cienfuegos. **Fuente.** (Rivero Zayas, 2015).

### 2.1.2 Planteamientos estratégicos de la Empresa GydeMa de Cienfuegos.

#### ❖ Misión.

Elaborar materias primas y materiales para diferentes procesos industriales y productos alimenticios, en una amplia gama de surtidos para la alimentación humana y animal, con la mejor calidad y eficiencia, garantizando la plena satisfacción de nuestros clientes.

#### ❖ Visión.

Somos una empresa próspera, diversificada, líder en el mercado nacional y competitivo en el mercado internacional.

#### ❖ Objeto social: Su objeto social consiste en:

- Producir, transportar y comercializar de forma mayorista productos alimenticios derivados del maíz tales como sirope de glucosa, almidón de maíz, aceite de consumo humano, mezclas secas, concentrados de frutas y vegetales, siropes y refrescos y alimento animal en pesos moneda nacional y pesos cubanos convertibles.
- Producir y comercializar de forma mayorista equipos, partes, piezas y accesorios de metal y goma fundamentalmente para la industria de conserva y lácteos en pesos moneda nacional y pesos cubanos convertibles.
- Producir y comercializar de forma mayorista implementos deportivos al Instituto Nacional de Deportes, Educación Física y Recreación en pesos moneda nacional.
- Brindar servicios de alquiler de transportación especializado y de carga en pesos moneda nacional.
- Brindar servicios personales, de reparación de enseres menores, de transporte de personal y alimentación a sus trabajadores en pesos moneda nacional.
- Ofrecer servicios de reparación y mantenimientos eléctricos, de instrumentación a equipos automáticos, informáticos y de comunicación a entidades en pesos moneda nacional.
- Producir y comercializar de forma mayorista ganado menor y de forma minorista a sus trabajadores productos agropecuarios procedentes del autoconsumo en pesos moneda nacional.

### 2.1.3 Aspectos Productivos.

A partir del maíz que es su materia prima fundamental y mediante el proceso tecnológico general de la fábrica el cual se representa en la figura 2.1, se elaboran en la misma una amplia gama de productos como:

<b>Producciones Fundamentales</b>	Almidón de Maíz.
	Glucosa.
	Sirope de Glucosa por vía ácida.
	Sirope de Glucosa por vía enzimática
<b>Subproductos</b>	Germen
	Forraje
	Gluten
	Licor de remojo
<b>Producciones alternativas</b>	Polvo para Hornear
	Natilla en polvo
	Mezcla para Arepas
	Desayuno Chocolate
	Almidón Saborizado
	Mezcla para Panetelas
	Sirope para refrescos
	Concentrado VIMANG

**Tabla 2.1.** Producciones de la Empresa GydeMa. **Fuente:** Elaboración Propia

### 2.2 Caracterización del proceso tecnológico para la fabricación de almidón en la Empresa de GydeMa en Cienfuegos. Objeto de estudio.

Con el objetivo de realizar un estudio integral para la implementación de una estrategia de Economía Circular en la Empresa GydeMa en Cienfuegos, la misma se dividió en tres temas de investigación con el objetivo de lograr una estrategia ambiental integrada y preventiva, a procesos y productos en el orden de reducir riesgos a los humanos y al medioambiente, quedando la distribución del trabajo de la siguiente forma:

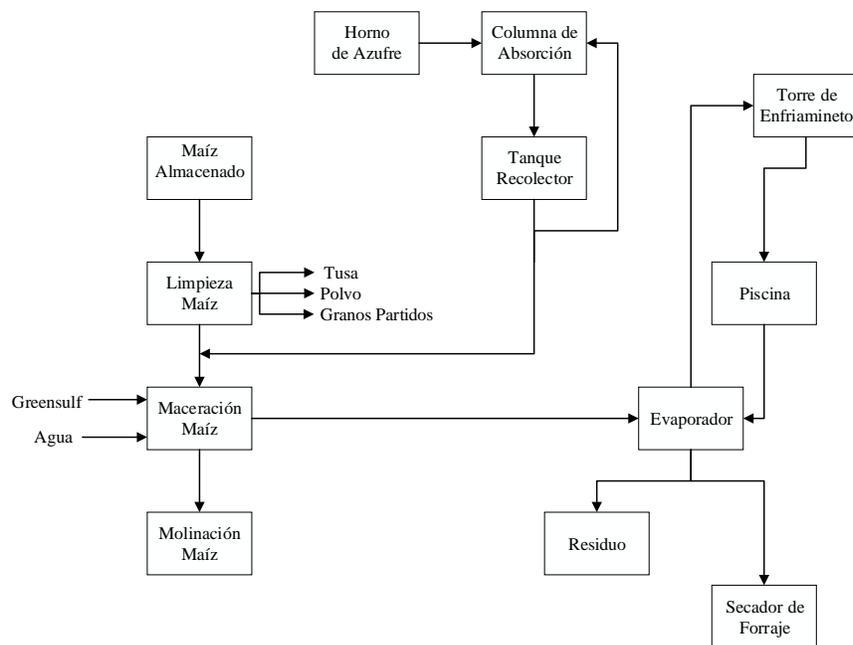
1. Recepción, Limpieza y Maceración del Maíz.

2. Molienda húmeda del maíz, lavado, deshidratación y secado de subproductos en la planta de almidón.
3. Separación, Refinación y Secado de Almidón.

### 2.2.1 Descripción de la Sección de Recepción, Limpieza y Maceración de Maíz.

En esta sección se realizan operaciones de tamizaje, transferencia de masa, transferencia de calor y cantidad de movimiento. Comenzando con la recepción del maíz que es la materia prima fundamental. (Chou Rodríguez, 2012)

En la figura 2.2 se muestra el diagrama de proceso de la sección. Este diagrama contiene todos los bloques de trabajo que se diseñaron en la puesta en marcha de la fábrica, los mismo han sufrido modificaciones con el transcurso de los años.

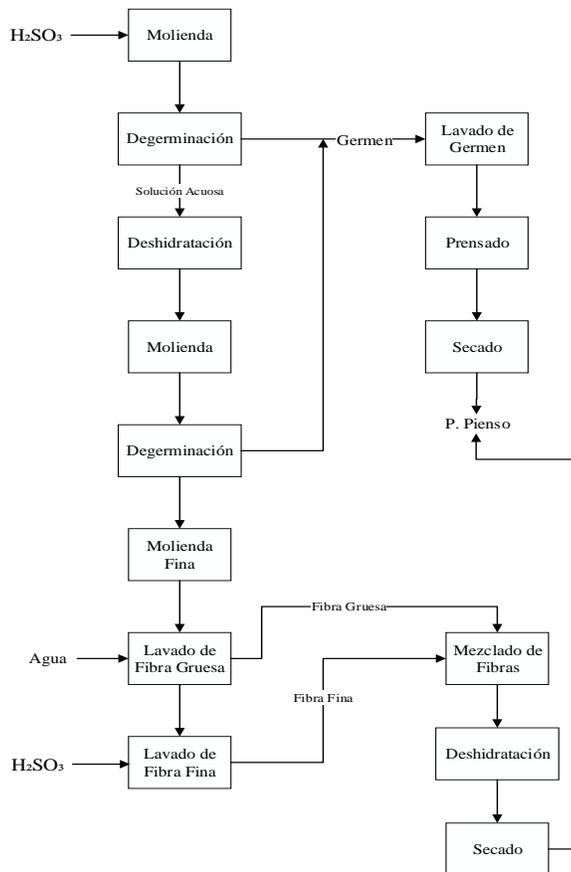


**Figura 2.2.** Diagrama Tecnológico de Proceso la etapa de Recepción, Limpieza y Maceración del Maíz. Empresa GydeMa Cienfuegos. **Fuente.** Elaboración Propia

### 2.2.2 Descripción de la sección de Molienda húmeda, Separación de Germen y Fibra.

Para la ejecución del proceso tecnológico intervienen varias operaciones unitarias como: separaciones mecánicas, flujo de fluidos, transferencia de masas, transferencia de calor, cantidad de movimientos, etc. Se utiliza como materia prima principal el “Maíz”, proveniente de la sección de maceración.

En la figura 2.3 se muestra el diagrama de proceso de la sección. Este diagrama contiene todos los bloques de trabajo que se diseñaron en la puesta en marcha de la fábrica.

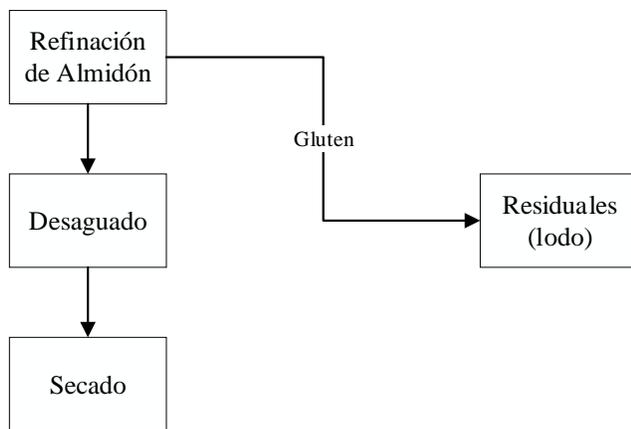


**Figura 2.3.** Diagrama Tecnológico de Proceso la etapa de Molienda húmeda del maíz, lavado y deshidratación. Empresa GydeMa Cienfuegos. **Fuente.** Elaboración Propia

### 2.2.3 Descripción de la sección Refinación y Secado de Almidón.

Para la ejecución del proceso tecnológico intervienen varias operaciones unitarias como: separaciones mecánicas, transferencia de masas, transferencia de calor, cantidad de movimientos, etc. Se utiliza como materia prima principal la lechada de almidón, proveniente de la sección de Molinación, y Lavado de Fibras.

En la figura 2.4 se muestra el diagrama de proceso de la sección. Este diagrama contiene todos los bloques de trabajo que se diseñaron en la puesta en marcha de la fábrica.



**Figura 2.4.** Diagrama Tecnológico de Proceso la etapa de Separación, Refinación y Secado de Almidón. Empresa GydeMa Cienfuegos. **Fuente:** Elaboración Propia

### 2.2.4 Descripción General del proceso de obtención de Almidón de Maíz en la Empresa GydeMa de Cienfuegos.

El proceso de obtención de almidón a partir del maíz en la Empresa GydeMa se lleva a cabo a través de una serie de etapas, las cuales podemos encontrar su diagrama de bloque en el anexo 4 y los diagramas de flujo correspondientes a las etapas en los anexos 5, 6, 7, 8 y 9.

#### Recepción del maíz y limpieza.

El maíz llega a la fábrica por medio de camiones y mediante un sistema de transportadores se descargan en el silo de almacenamiento. De este pasa al sistema de limpieza para separar las materias extrañas que vienen con el grano, las tuzas, polvo, granos enfermos, granos partidos, etc. El maíz va pasando por un sistema de peso continuo para de esta manera

cuantificar la cantidad de maíz que va hacia los Tanques Maceradores. Posteriormente mediante otro transportador es distribuido en dichos Tanques, pasando así a la siguiente etapa.

#### Maceración

El proceso de maceración es la parte fundamental de la producción de almidón de maíz, porque una buena maceración facilita posteriormente la separación de todos los componentes del grano (germen, fibra gruesa, fibra fina, gluten y almidón). El proceso de maceración o remojo se realiza adicionándole agua y Greensulf a los tanques maceradores, para de esta forma eliminar una indeseable actividad microbiana y una solubilización eficiente de las sustancias solubles del maíz. La maceración se realiza con agua sulfurosa porque el azufre rompe los enlaces del almidón, siendo más fácil su separación y la de los demás componentes. Una vez completada la operación el maíz se retira del tanque por el fondo y se envía a un transportador deshidratador (tornillo sin fin) hasta la sección de molienda.

#### Molienda y Degerminación

El grano llega al primer molino (Molino Previo 1) donde se rasga o se parte el maíz para de esta forma liberar el germen y facilitar después la separación de los demás constituyentes. Este molino se alimenta con agua sulfurosa proveniente del proceso auxiliar de obtención de esta y también del agua que viene de la caja 010-05. Posteriormente se pasa a los degerminadores 1 y 2, donde se separa el germen por diferencia de densidad. Como el germen es rico en grasa se separa de la mezcla por reboso, mientras que el resto de los componentes van al fondo. La solución acuosa libre de gran parte del germen es transportada por un tornillo sin fin deshidratador hacia el segundo molino (Molino Previo 2) el cual también se alimenta con agua proveniente de la caja 010-05, donde se terminan de desgarrar los granos y se libera el germen que haya quedado. Posteriormente se bombea la solución acuosa hacia el degerminador 3 donde se retira todo el germen restante. Por último, la solución libre de germen se envía al molino fino donde se tritura el grano como tal.

#### Lavado de Fibra gruesa y Fibra fina

Una vez triturado el grano se bombea al área de lavado de fibra, porque el maíz posee una parte celulósica (la cual es necesario retirar) compuesta por dos tipos de fibra, la gruesa y la

fina. Estas fibras se lavan por separado para así obtener mejores resultados a la hora de extraer el almidón que contienen. Primeramente, se procede al lavado de la fibra gruesa con agua común, aquí se separa la fibra gruesa y se envía la solución al lavado de fibra fina junto con agua sulfurosa proveniente de la torre de absorción donde se separa esta última. Los dos tipos de fibra se unen para formar el forraje y la lechada de almidón resultante del proceso de lavado se recibe en el tanque de almidón crudo.

#### Separación Primaria

La lechada de almidón proveniente de los tanques se envía hacia un sistema de pequeños filtros los cuales retiran impurezas que pudieran dificultar el funcionamiento de la centrifuga encargada de separar el almidón del gluten (proteína insoluble del maíz). Por la fuerza centrífuga el gluten se separa por reboso y el almidón por el fondo se envía a la siguiente etapa.

#### Refinación

El refinado consiste en terminar de separar el almidón de la proteína, para esto se pasa la lechada por una serie de centrifugas (1er, 2do y 3er refinado). El almidón ya refinado se envía a los tanques de almacenamiento para posteriormente ser secado para la Producción de Almidón (Maicena).

#### Desaguado

El almidón refinado tiene una concentración de 18 °Be y se acondiciona en un rango de 11 a 13 °Be antes de pasarla al filtro rotatorio al vacío con descarga de cuchilla. Mediante la acción del filtro se obtiene una pasta que se envía a la próxima área.

#### Secado

El almidón proveniente de la sección anterior posee una humedad aproximada de un 43% y se transporta a un secador neumático calentado por vapor el cual a través de un ventilador con aire caliente eleva el almidón. Una vez en la parte superior del secador se alimenta a dos torres por el costado logrando un efecto de ciclón, de esta manera se seca aún más el almidón y se separa gran parte del aire caliente del mismo. Cuando el almidón llega a la base de las torres una parte se recircula a la etapa del desaguado, de esta forma se facilita el posterior

secado de la pasta que retiran las cuchillas. El resto del almidón se envía a un tamiz para separar posibles impurezas y partículas de almidón que no se secaron completamente.

#### Pre Empaque

El almidón proveniente del tamiz se almacena temporalmente para después empaquetarlo en sacos de 20 kg.

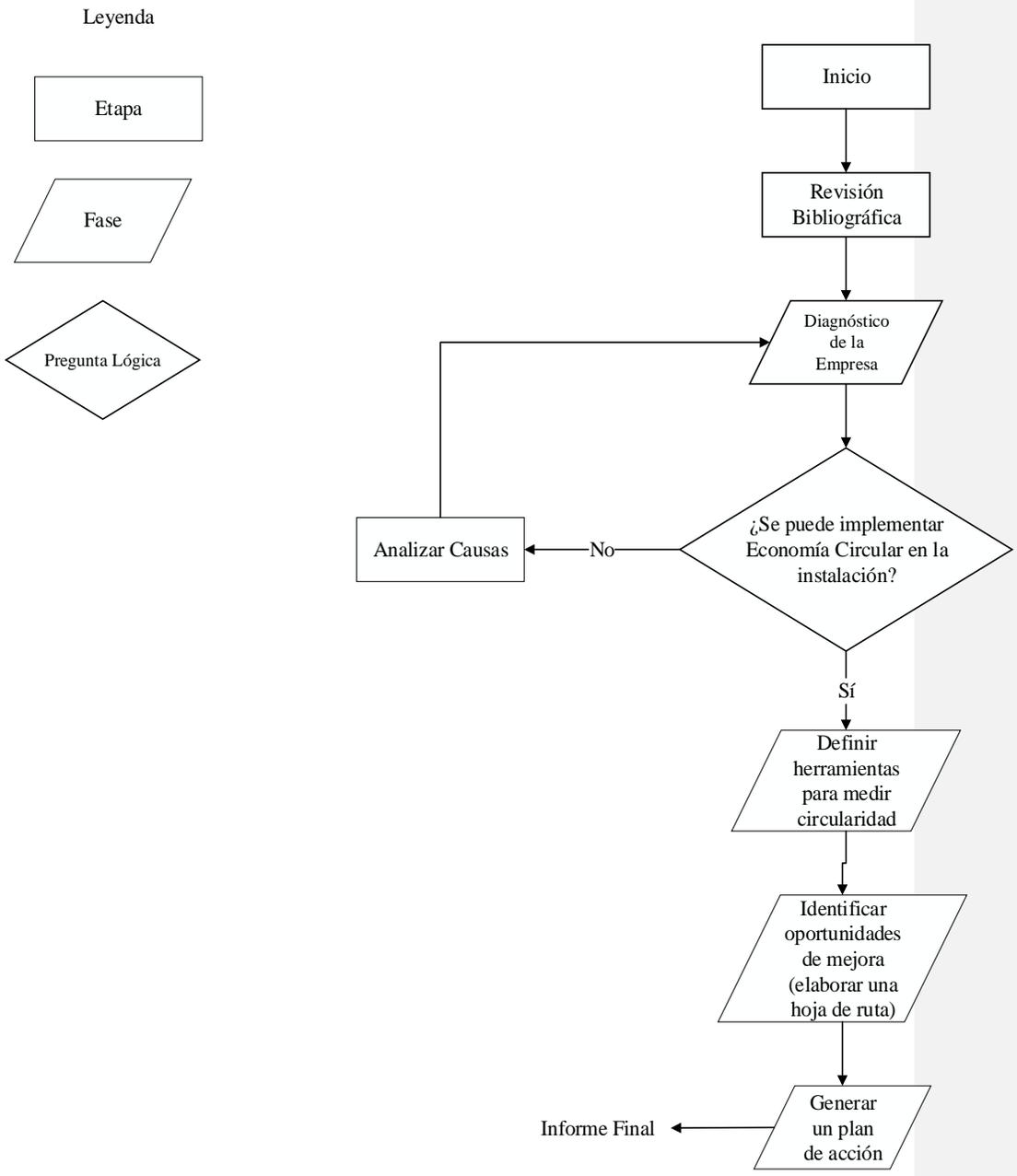
### **2.3 Propuesta metodológica para la investigación.**

La heurística como disciplina científica es aplicable a cualquier ciencia e incluye la elaboración de medios auxiliares, principios, reglas, estrategias y programas que faciliten la búsqueda de vías de solución a problemas.

Se ha desarrollado en el presente trabajo el método de “diagrama heurístico”, pues es una herramienta de gran utilidad y muy empleada en el proceso de búsqueda y ayuda de los medios para resolver los problemas.

El diagrama heurístico que se ha elaborado para realizar esta investigación se muestra en la figura 2.5. La secuencia de fases que caracterizan el mismo, se describen desde el acápite 2.3.1 hasta el 2.3.4.

Para avanzar en la estrategia de cambio hacia la Economía Circular, la metodología aplicada para esta investigación se compone de cuatro fases principales: realizar diagnóstico de la empresa; definir herramientas para medir la circularidad; identificar oportunidades de mejora (elaborar una hoja de ruta) y generar un plan de acción. Esta metodología no es más que la unión de las metodologías de (Nuñez Perez & de Miguel, 2022) y (Martínez Valencia, et al., 2021) adaptada al caso de estudio.



**Figura 2.5.** Diagrama heurístico. Fuente. Elaboración propia.

### **2.3.1 Fase I. Realizar diagnóstico de la empresa.**

Como punto inicial, es necesario definir el grado de ambición y el enfoque que se quiere dar en la empresa. Se hace de suma importancia tener en cuenta el contexto político a nivel de Economía Circular, el diagnóstico puede surtir una vasta comprensión del panorama de las políticas existentes relacionadas con la Economía Circular.

Esta fase consiste en evaluar y mapear las zonas más fuertes o con mayor potencial para poder avanzar hacia una Economía Circular.

En esta etapa se identificó la situación real de la empresa en un momento dado para identificar problemas y áreas de oportunidades. Se basa en un procedimiento clave para establecer los objetivos que guiarán las próximas acciones de la organización.

Se delimitó la zona y el tiempo sometido a análisis. En este sentido, se enmarcó espacialmente la investigación a la zona correspondiente al objeto de estudio. Se presenta un diagrama de flujo, en donde se identifican las principales entradas de materia prima, insumos, energía, agua y salidas de productos y residuos. Esto permitirá analizar los puntos críticos en el proceso, dentro de una economía lineal, para plantear oportunidades de economía circular al interior de la empresa.

Las especificidades territoriales se basaron en la información obtenida de entrevistas con operadores y tecnólogos del proceso y con los directivos de planta combinada y específicamente con los de la planta de obtención de almidón de maíz.

- **Identificar puntos críticos**

La priorización de los puntos críticos se realiza con base en: la visión general previamente desarrollada, la agenda política existente, la revisión de datos económicos y la consideración del impacto que tiene en términos de los recursos consumidos, por ejemplo, energía, agua, materiales y la generación de residuos y emisiones. Todos estos elementos deben permitir acotar cuáles son los puntos críticos para el impulso de la Economía Circular. Hacer este ejercicio de priorización posibilita entrar los esfuerzos en lo que realmente tiene más potencial para generar un cambio en la economía lineal hacia la circularidad.

El hecho de identificar puntos críticos en los que se enfocarán las actividades de Economía Circular, no implica excluir el resto de las opciones o líneas de actividad, sino que simplemente pretende poner, a las zonas priorizadas en el centro del proceso de identificación de estrategias de Economía Circular.

El desarrollo del Eco - Mapa es el primer paso para hacer una revisión general de la empresa, identificar los puntos de interés, y trazar el punto de partida para seguir en la consecución de información para la búsqueda de alternativas de Economía Circular.

El Eco - Mapa, ayuda a tener una idea de las prioridades ambientales de la empresa. Esta herramienta hace un diagnóstico gráfico de los consumos de recursos y generación de residuos en el proceso. Esto nos permite tres cosas:

- Analizar de manera integral todos los impactos ambientales de la empresa
- Identificar los lugares o procesos de mayor consumo de materia e insumos
- Priorizar puntos críticos para formular el proyecto de Economía Circular.

- **Evaluación de eficiencia**

Cuando el Eco-Mapa es terminado, el siguiente paso es aplicar el Eco-Balance esta es la herramienta básica para analizar las entradas y salidas del proceso, insumos, productos, subproductos y residuos permitiendo entender el metabolismo del proceso de transformación. A partir de la cuantificación de los flujos de recursos, la herramienta permite hacer un análisis detallado de las áreas identificadas como críticas en el Eco-Mapa, en cuanto a la eficiencia y pérdidas de recursos.

De esta manera para cuantificar la cantidad de entradas y salidas del proceso, insumos, productos, subproductos y residuos se muestran a continuación.

#### **2.3.1.1 Ecuaciones para el balance de masa en la sección de Recepción, Limpieza y Maceración de Maíz.**

Para la realización de los balances de masa y energía se tomó como punto inicial la entrada de maíz a la fábrica para determinar la cantidad de impurezas que salen de la sección de limpieza, y se culminó con la separación en el tanque de maceración para

obtener las cantidades de las dos corrientes de salida.

➤ **Balance en el tamiz.**

Este balance de materiales tiene como objetivo calcular la cantidad de maíz que salió de la etapa de limpieza para luego ir a la etapa de maceración, así como las impurezas que eliminaron los equipos en esta sección.

$$\text{Maíz Entrada (ME)} = \text{Maíz Salida (MS)} + \text{Impurezas (IM)} \quad \text{(Ecuación 2.1)}$$

➤ **Balance en el tanque de maceración.**

$$\rho_{As} = \frac{m_{As}}{\text{volumen}} \quad \text{(Ecuación 2.2)}$$

$$MS + As = MM \quad \text{(Ecuación 2.3)}$$

➤ **Balance para la separación en el tanque de maceración.**

El objetivo de este balance de materiales es conocer la cantidad de agua sulfurosa que se extrae del tanque y que luego abra quedado cierta cantidad de esta en la cuba para ser utilizada para arrastrar el maíz por el trasportador hidráulico y la otra parte que se bota para residuales.

$$V_{ASA} * \rho = m_{ASA} \quad \text{(Ecuación 2.4)}$$

$$ASA1 = ASA' + ASA \quad \text{(Ecuación 2.5)}$$

$$MM2 = MMA + ASA1 \quad \text{(Ecuación 2.6)}$$

Nomenclatura

$\rho_{As}$ : densidad de agua sulfurosa

$m_{As}$ : masa de agua sulfurosa

$MS$ : maíz de salida del proceso de limpieza

$As$ : agua sulfurosa

$MM$ : mezcla de maíz y agua sulfurosa

$MMA$ : maíz macerado

### 2.3.1.2 Ecuaciones para el balance de energía en la sección de Recepción, Limpieza y Maceración de Maíz.

#### ➤ Balance en el tanque de maceración.

El objetivo de este balance de energía es conocer la cantidad de vapor (V) a 0,5MPa y 151°C que se requerirá para alcanzar la temperatura de maceración (50°C) para calentar la mezcla de maíz y agua sulfurosa (MM) que se encuentra a (30°C).

$$Qg = -\eta * Qc \quad \text{(Ecuación 2.7)}$$

$$Cp_{MM} = Cp_{As} + Cp_{maíz} \quad \text{(Ecuación 2.8)}$$

$$Qg = \int_{T_1}^{T_2} m_{MM} * Cp_{mm} dT \quad \text{(Ecuación 2.9)}$$

$$Qc = m_v * \lambda_v \quad \text{(Ecuación 2.10)}$$

Qg —→ MM

Qc —→ V

Nomenclatura

As = agua sulfurosa

Qg = calor ganado

Gc = calor cedido

$\eta$  = eficiencia

$Cp_{mm}$  = capacidad calorífica de la mezcla de maíz y agua sulfurosa.

### 2.3.1.3 Ecuaciones para el balance de masa en la sección de Molienda húmeda Separación de Germen y Fibra.

#### ➤ Balance en el Molino Previo 1

Balance Total:

$$Q_{MMA} + H_2O S + H_2O S 010 - 05 = SolAGeFG + RS \quad \text{(Ecuación 2.11)}$$

*Balance Parcial de Almidón:*

$$X_A(MM) Q_{MMA} + X_A(H_2O S 010 - 05) H_2O S 010 - 05 = X_A(SolAGeFG) SolAGeFG \quad \text{(Ecuación 2.12)}$$

- **Balance desde la entrada al Molino Previo 1 hasta la salida de la degerminadora 3**

*Balance Total:*

$$Q_{MMA} + H_2O S + H_2O S 010 - 05 = SolAFG + SolGe + H_2O S 010 - 05 \quad \text{(Ecuación 2.13)}$$

**Balance en la degerminadora 3**

$$\text{Balance Total: } SolGe + H_2O = Ge(H) + H_2O S 010 - 05 \quad \text{(Ecuación 2.14)}$$

*Balance Parcial de Germen:*

$$X_{Ge(SGe)} * SolGe = X_{Ge(Ge(H))} * Ge(H) \quad \text{(Ecuación 2.15)}$$

$$H = \frac{m(\text{humeda}) - m(\text{seca})}{m(\text{seca})} * 100 \quad \text{(Ecuación 2.16)}$$

- **Balance en Molino Fino**

$$\text{Balance Total: } SolAFG + H_2O + H_2O S 010 - 05 = SolAFG1 \quad \text{(Ecuación 2.17)}$$

*Balance Parcial de Fibra:*

$$X_{F(SolAFG)} * SolAFG = X_{F(SolAFG1)} * SolAFG1 \quad \text{(Ecuación 2.18)}$$

*BP de Almidón:*

$$X_{A(SolAFG)} * SolAFG + X_{A(H_2O S 010 - 05)} * H_2O S 010 - 05 = X_{A(SolAFG1)} * SolAFG1 \quad \text{(Ecuación 2.19)}$$

*Nomenclatura:*

$Q_{MMA}$ : Flujo másico de Maíz Macerado.

$SolAGeFG$ : Solución de almidón, germen, fibra y gluten.

*SolGe: Solución de germen.*

*SolAFG: Solución de almidón, fibra y germen.*

*RS: Residuos sólidos.*

*H<sub>2</sub>O: Agua.*

*H<sub>2</sub>O S: Agua Sulfurosa.*

*H<sub>2</sub>O S 010 – 05: Agua sulfurosa de 010 – 05.*

*Ge: Germen.*

*F: Fibra.*

*XA: Composición de almidón en cada corriente.*

*XGe: Composición de germen en cada corriente.*

*XF: Composición de fibra en cada corriente.*

#### **2.3.1.4 Ecuaciones para el balance de energía en la sección de Molienda húmeda Separación de Germen y Fibra.**

Para el sistema de flujo que impulsa el (H<sub>2</sub>O S 010-05) del tanque 010-05 a la entrada del Molino Previo 1 se le realizó el Balance de Energía.

$$Qv_{H_2O S 010-05} = A * v \quad \text{(Ecuación 2.20)}$$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad \text{(Ecuación 2.21)}$$

Nomenclatura

*Qv: cantidad de vapor*

*A: área*

*v: velocidad*

### 2.3.1.5 Ecuaciones para el balance de masa en la sección de Refinación y Secado de Almidón.

#### ➤ Balance en el separador primario

$$Q_m = Q_V * \rho \quad (\text{Ecuación 2.22})$$

$$\text{Balance total: } Q_{mSAGL} + Q_{mAPP} = Q_{mALP} + Q_{mSGLP} \quad (\text{Ecuación 2.23})$$

Balance parcial de % de proteína.

$$\%prot_{SAGL} * Q_{mSAGL} = \%prot_{SGLP} * Q_{mSGLP} + \%prot_{ALP} * Q_{mALP} \quad (\text{Ecuación 2.24})$$

#### ➤ Balance en el refino 1

$$\text{Balance total: } Q_{mALP} + Q_{mAP1} = Q_{mAL1} + Q_{mSGL1} \quad (\text{Ecuación 2.25})$$

Balance parcial de % de proteína.

$$\%prot_{ALP} * Q_{mALP} = \%prot_{SGL1} * Q_{mSGL1} + \%prot_{AL1} * Q_{mAL1} \quad (\text{Ecuación 2.26})$$

#### ➤ Balance en el refino 3

$$\text{Balance total: } Q_{mAL1} + Q_{mAP3} = Q_{mAL3} + Q_{mSGL3} \quad (\text{Ecuación 2.27})$$

Nomenclatura

SALG: Solución de almidón y gluten

APP: Agua procesada en el separador primario

AP1: Agua procesada en el refino 1

ALP: Almidón en el separador primario

AL1: Almidón en el refino 1

AL3: Almidón en el refino 3

SGLP: Solución de gluten que sale del separador primario

SGL1: Solución de gluten que sale del refino 1

SGL3: Solución de gluten que sale del refino 3

### 2.3.1.6 Ecuaciones para el balance de energía en la sección Refinación y Secado de Almidón.

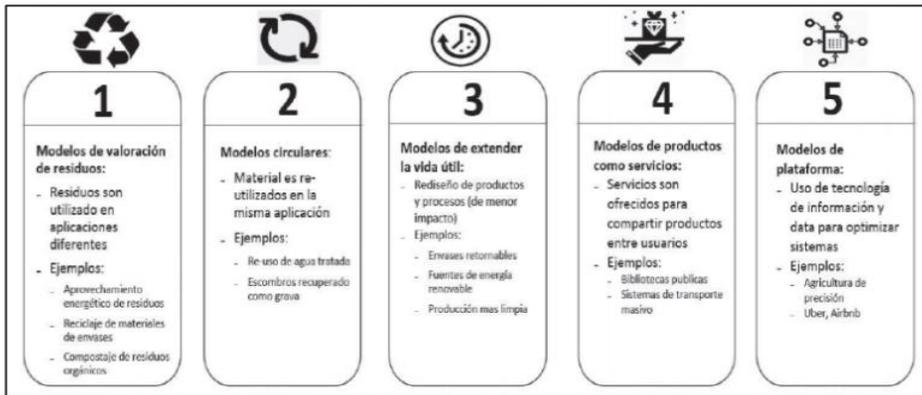
$$Q_G = \int_{T_1}^{T_2} m_{aire} * Cp_{aire} dt \quad \text{(Ecuación 2.28)}$$

### 2.3.2 Fase II. Definir herramientas para medir circularidad.

Según la Estrategia nacional de la Economía Circular en Colombia se plantean cinco tipologías de iniciativas innovadoras que impulsan a la transformación de la Economía Lineal a la Circular, además de ser el horizonte de la implementación y avance del país. Estas tipologías se plantearán como estándar comparativo. En la Figura 2.6 se muestra las cinco tipologías de modelos de implementación de la Economía Circular de manera resumida.

Para la evolución hacia un modelo de Economía Circular es necesario situar herramientas e indicadores de medida. Pues permiten estimar el grado en el que las diferentes iniciativas ayudan a avanzar hacia la ejecución de la Economía Circular.

Por esta razón, se explica a continuación las herramientas utilizadas en este trabajo para la evaluación cualitativa y/o cuantitativa de la contribución de la Economía Circular al caso de estudio.



**Figura 2.6.** Tipologías de los modelos de implementación de la Economía Circular. **Fuente.** (Molina Urdanivia, 2022)

La Fundación Ellen MacArthur ha desarrollado una metodología propia para la medición de la Economía Circular que se centra en evaluar cómo de circulares son los flujos de materiales tanto a nivel de producto como a nivel de empresa. Además, esta metodología provee a sus usuarios de indicadores complementarios que les permite evaluar los impactos y riesgos ambientales (Foundation, 2015).

El flujo de materiales considera los porcentajes de entrada y salida circular de materiales y residuos. Se incluyen dentro de las entradas circulares aquellas que son recursos renovables o no vírgenes, es decir, que están siendo reutilizadas. Dentro de las salidas circulares se engloban aquellos flujos de materiales que se destinan a la reutilización (García-Ovies, 2021).

### 2.3.2.1 Porcentajes de entrada y salida circular.

#### ➤ Por ciento (%) de entrada circular total (ECT)

$$ECT = \frac{(ECA*m_A)+(ECB*m_B)+(ECC*m_C)}{m_A+m_B+m_C} \quad \text{(Ecuación 2.29)}$$

- $ECA$  = % entrada de circularidad A
- $ECB$  = % entrada de circularidad B
- $ECC$  = % entrada de circularidad C
- $m_A$  = Masa A
- $m_B$  = Masa B
- $m_C$  = Masa C
- Masa total = A + B + C ( $m_A + m_B + m_C$ )

#### ➤ Por ciento (%) de salida circular total (SCT)

$$SCT = \frac{(SCD*m_D)+(SCE*m_E)+(SCF*m_F)}{m_D+m_E+m_F} \quad \text{(Ecuación 2.30)}$$

- $SCD$  = % salida de circularidad D
- $SCE$  = % salida de circularidad E
- $SCF$  = % salida de circularidad F
- $m_D$  = Masa D
- $m_E$  = Masa E

- $m_F = \text{Masa } F$
- $\text{Masa total} = D + E + F (m_D + m_E + m_F)$

El rendimiento general de circularidad simboliza el equilibrio entre los flujos de materiales lineales y circulares, consiste en cuatro flujos principales: entrada circular, entrada lineal, salida circular y salida lineal.

Los flujos de materiales pueden incluir nutrientes, compuestos, materiales, piezas, componentes o incluso productos. El rendimiento general de circularidad es el promedio entre el porcentaje de entrada circular y el porcentaje de salida circular.

➤ **Porcentaje de entrada circular.**

Este indicador (Ecuación 2.29) valúa la circularidad total de los materiales entrantes:

Puede ser desafiante determinar la cantidad de cada uno de los tres flujos. La distinción más importante aquí es separar los flujos circulares de los lineales. Esto significa que el porcentaje de circularidad de entrada debe determinarse a nivel de materiales.

➤ **Por ciento (%) de entrada de circularidad X (ECX)**

$$ECX = \% \text{ contenido renovable o \% no virgen} \quad (\text{Ecuación 2.31})$$

La clasificación de los materiales entrantes se muestra a continuación:

- Virgen, no renovable (lineal): estos son materiales que nunca han sido usados o consumidos (primarios), ni son renovables.
  - Para estos materiales el por ciento (%) de entrada de circularidad  $V = 0\%$
- Virgen, renovable (circular): la entrada renovable es circular si se restaura o se restablece a través de los ciclos ecológicos después de la extracción. Se hace necesario preferiblemente que sea regenerativa y manejada de forma sostenible.
  - La entrada puede consistir en contenido total o parcialmente renovable. En este caso:

$$\% \text{ entrada de circularidad VR} = \% \text{ contenido renovable} \quad (\text{Ecuación 2.32})$$

- No virgen o secundario (circular): la entrada también es circular si se recuperó previamente, no es virgen o es secundaria (por ejemplo, reutilizada, reacondicionada, remanufacturada o reciclada).
  - La entrada puede consistir en contenido total o parcialmente recuperado, en este caso:

$$\% \text{ entrada de circularidad NR} = \% \text{ contenido recuperado} \quad \text{(Ecuación 2.33)}$$

En ciertos casos, la entrada puede ser ambas, renovables y no virgen. En esos casos, la entrada solo se puede contar en una de las categorías circulares para evitar el doble conteo.

Igualmente, del cálculo ascendente del porcentaje de entrada circular, la herramienta ofrece un cálculo descendente para el porcentaje de entrada circular.

➤ **Por ciento (%) de entrada circular (EC)**

$$EC = \frac{\text{Masa de entrada renovable} + \text{Masa de entrada no virgen}}{\text{Masa total de todas las entradas}} * 100\% \quad \text{(Ecuación 2.34)}$$

El conjunto de datos requerido es el mismo y el resultado de los dos enfoques de igual modo debería ser el mismo.

➤ **Índice de flujo lineal**

Este Índice permite establecer la analogía entre la cantidad de materia prima virgen que entra al proceso productivo y la cantidad de material que se dispone en rellenos sanitarios al final de su uso. Este índice asigna valores entre 0 y 1 para un producto o proceso productivo. Mientras más cercano a 1 sea el resultado, más lineal será el producto o proceso productivo de la empresa.

$$IFL = \frac{(V + W)}{2M + \frac{W_F - W_c}{2}} \quad \text{(Ecuación 2.35)}$$

$$V = M(1 - F_R - F_U) \quad \text{(Ecuación 2.36)}$$

$$W = W_0 + \frac{W_F + W_C}{2} \quad \text{(Ecuación 2.37)}$$

Donde:

V: Masa de material virgen usada en el producto

M: Masa del producto

F<sub>R</sub>: Fracción de masa de la materia prima de un producto a partir de fuentes recicladas.

F<sub>U</sub>: Fracción de masa de la materia prima de un producto a partir de fuentes reusadas.

W: Masa de residuos no recuperables asociados al producto.

W<sub>0</sub>: Masa de residuos no recuperables a través del material de un producto que se va a rellenos sanitarios, residuos para la generación de energía y cualquier otro tipo de proceso donde los materiales ya no se puedan recuperar.

$$W_0 = M(1 - C_R - C_U) \quad \text{(Ecuación 2.38)}$$

C<sub>R</sub>: Fracción de la masa de un producto que se recolecta para entrar en un proceso de reciclaje.

C<sub>U</sub>: Fracción de la masa de un producto que va a reutilización de componentes.

$$W_C = M(1 - E_C) - C_R \quad \text{(Ecuación 2.39)}$$

W<sub>C</sub>: Masa de residuos no recuperables generados en el proceso de reciclaje de las partes del producto

E<sub>C</sub>: Eficiencia del proceso de reciclaje utilizado por la fracción de un producto recolectado para reciclaje

$$W_F = M + \frac{(1 - E_F)F_R}{E_F} \quad \text{(Ecuación 2.40)}$$

**W<sub>F</sub>**: Masa de residuos no recuperables generados al producir materia prima reciclada para el producto.

**E<sub>F</sub>**: La eficiencia del proceso de reciclaje utilizado para producir materia prima reciclada para un producto.

**F<sub>R</sub>**: Fracción de masa de la materia prima de un producto a partir de fuentes recicladas.

➤ **Índice de consumo de materia prima (ICMP)**

$$ICMP = \frac{Vol. Consumido}{Vol. Producción} \quad (\text{Ecuación 2.41})$$

	Descripción	Unidad de medida	Ecuación de cálculo	No. de Ecuación
Índice de input de material total (N)	Es la suma de las entradas: materia primaria, materia reciclada (interna y externamente) y material renovable	t	$N = A + B + R + C$	<b>Ecuación 2.42</b>
Indicador porcentual de materia circular respecto al input total (P)	Es el % de material reciclado y renovable respecto al total de material de entrada.	%	$P = \frac{B + R + C}{N}$	<b>Ecuación 2.43</b>
Indicador porcentual de materias secundarias respecto al input total (T)	Este indicador representa la cantidad de materia prima secundaria respecto al input material total	%	$T = \frac{B + C}{N}$	<b>Ecuación 2.44</b>

**Tabla 2.2.** Input total. **Fuente.** Elaboración propia.

➤ **Porcentaje de salida circular.**

De forma similar al cálculo del porcentaje total de entrada circular, esta fórmula (Ecuación 2.28) evalúa la circularidad total de los materiales salientes:

Los flujos que se deben considerar como salida contemplan los productos vendidos (incluido el envase), subproductos y residuos, ya sea en forma sólida, líquida o evaporada. Esto puede abarcar subproductos o residuos operativos o de procesos.

Esto significa que el porcentaje de salida circular también debe determinarse a nivel de flujo de materiales.

➤ **Por ciento (%) salida de circularidad X (SCX)**

$$SCX = \% \text{ potencial de recuperación } X * \% \text{ recuperación real } X \quad (\text{Ecuación 2.45})$$

Si los materiales no se tratan de forma que tengan algún potencial de recuperación técnica ni la empresa es capaz de asegurar que los materiales regresan a la cadena de valor después del término de su vida útil inicial, la salida se considera lineal.

Tanto el porcentaje de entrada circular como el porcentaje de salida circular se estructuran a partir del promedio ponderado del porcentaje individual de circularidad de los materiales. Por lo tanto, es necesario evaluar el porcentaje de circularidad a nivel de flujos de materiales.

➤ **Porcentaje de potencial de recuperación.**

El porcentaje del potencial de recuperación refleja la capacidad de la empresa para diseñar o tratar su salida de modo de asegurar que los materiales se puedan recuperar técnicamente (incluye solo la recuperación de materiales, no la recuperación de energía).

Para la mayoría de los flujos, la categorización habitual es la siguiente:

- Sí, esta salida es totalmente recuperable: el potencial de recuperación es de un 100 %
- No, esta salida no es recuperable: el potencial de recuperación es de un 0 %
- Un poco de potencial, esta salida es biodegradable: el potencial de recuperación es de X %

➤ **Porcentaje de recuperación real.**

El porcentaje de recuperación total refleja la cantidad de materiales que se recuperan realmente una vez que dejan el límite de la empresa.

La recuperación no es lo mismo que la recolección. Después de la recolección, los materiales aún pueden ir a dar a un relleno sanitario o ser incinerados. Este es el motivo de por qué este indicador no se basa en estimaciones, sino que requiere datos reales.

En casos en que no haya datos disponibles para su flujo en particular y no se haya realizado seguimiento descendente, la recuperación real es de un 0 %.

➤ **Circularidad del agua.**

Además de los flujos de materiales, la circularidad del agua es un elemento importante en la Economía Circular. Las características de la circularidad del agua, más allá de la cantidad de flujo, son la calidad y los niveles de estrés hídrico regionales.

El indicador de circularidad del agua se calcula como la media de las entradas circulares, entradas de agua recirculada de otros procesos, y salidas circulares de agua, salidas de agua destinadas a ser reutilizadas.

➤ **Índice de consumo de agua (ICA)**

$$ICA = \frac{\text{Vol. Consumido}}{\text{Vol. Producción}} \quad (\text{Ecuación 2. 46})$$

➤ **Proporción de agua reutilizada (PAR)**

$$PAR = \frac{\text{Volumen total de agua reutilizada}}{\text{Agua total consumida en el proceso productivo}} \quad (\text{Ecuación 2. 47})$$

➤ **Flujo de energía.**

El flujo de energía se analiza para medir qué porcentaje de la energía entrante es circular, o lo que es lo mismo, qué porcentaje de ésta es energía renovable.

### 2.3.2.2 Porcentaje de energía renovable.

En una Economía Circular, la producción de energía depende de fuentes renovables y se aleja de los combustibles fósiles. Debido a la complejidad involucrada en este cálculo y la posibilidad de distorsionar los resultados, la fórmula para el porcentaje de energía renovable es la siguiente:

➤ **Por ciento (%) de energía renovable (ER)**

$$ER = \frac{\text{energía renovable}(\text{consumo anual})}{\text{energía total}(\text{consumo anual})} * 100\% \quad (\text{Ecuación 2. 48})$$

➤ **Circularidad de los residuos (CR)**

$$CR = \frac{\text{Residuos aprovechados}}{\text{Recursos generados}} \quad (\text{Ecuación 2. 49})$$

Según (Hoof et al., 2022) el rango de la circularidad de los residuos es:

< 5% baja

5 – 25% media

> 25% alta

➤ **Cantidad de materiales reutilizados (CMR)**

$$CMR = \frac{\text{Masa total de materiales reutilizados}}{\text{Masa total de materiales consumidos en fabricación}} \quad (\text{Ecuación 2. 50})$$

**Por ciento (%) reciclabilidad de productos y envases (RPE)**

$$RPE = \frac{\text{Masa total de productos y envases reciclados}}{\text{Masa total de materiales consumidos}} \quad (\text{Ecuación 2. 51})$$

➤ **Indicador de circularidad de la planta.**

Se calcula mediante la herramienta Inédit, la cual tiene como objetivo ofrecer a las organizaciones un instrumento para que puedan evaluar el grado de circularidad de sus empresas. La herramienta, una vez hecha la evaluación, puede ser muy útil para tomar decisiones que favorezcan la sostenibilidad y competitividad de la organización.

Rango:

< 30% baja

30 – 75% media

> 75% alta

Una vez realizado la selección de los indicadores a trabajar se procede a la realización de los cálculos y la interpretación de los resultados.

### 2.3.3 Fase III. Identificar oportunidades de mejora (elaborar una hoja de ruta)

Una vez que se han seleccionado las zonas de enfoque, se realiza la evaluación específica de cada una con el objetivo de identificar las oportunidades más relevantes de Economía Circular y elaborar una hoja de ruta. Las mismas deben ser mapeadas y posteriormente priorizadas. Para las oportunidades priorizadas, se debe evaluar el impacto económico específico, así como, as barreras que podrían limitar su alcance (Foundation, 2015)

Es importante priorizar dichas oportunidades con el fin de seleccionar aquellas con mayor potencial de éxito. El producto final es un conjunto de oportunidades priorizadas y detalladas aplicables a la fábrica. Estas oportunidades son llevadas a un criterio de expertos dándole a cada una un orden de prioridad.

#### ➤ Aplicación del método Delphi para la selección de la alternativa.

Se determina el número de expertos que participarán mediante la siguiente expresión:

$$n = \frac{p(1-p) * k}{i^2} \quad (\text{Ecuación 2. 52})$$

En este caso:

$n$  – Cantidad o número de expertos.

$p$  – Proporción de error que se comete al hacer estimaciones del problema con la cantidad de expertos. En este caso  $p = 0,02$ .

$i$  – Precisión del experimento. Debe ser  $i \leq 0,12$ . En este caso  $i = 0,091$

$k$  – Constante que depende del nivel de significación estadística  $(1 - \alpha)$ , que se obtiene a través de la Tabla 2.2 en este caso se trabaja con 3,8416.

**Tabla 2.3.** Coeficientes de significación estadística. **Fuente.** Elaboración propia

$(1 - \alpha)$	$k$
99 %	6, 6564
<b>95 %</b>	<b>3, 8416</b>
90 %	2, 6896

Sustituyendo valores en (Ecuación 2.31) se tiene que:  $n = \frac{p(1-p)*k}{i^2} = 9,09 \approx 9$

Posteriormente se determina el coeficiente de competencia ( $K_{competencia}$ ) de cada uno de los expertos para la selección. Se determina por la siguiente expresión:

$$K_{competencia} = K_c + K_a \quad (\text{Ecuación 2.53})$$

Donde:

$K_c$  – Promedio de los valores que el candidato le confiere a cada aspecto que se evalúa en una encuesta presentada. Autoevaluación de manera anónima.

$K_a$  – Coeficiente de argumentación, dado por la sumatoria de los valores adquiridos por el grado de influencia de cada una de las fuentes de argumentación.

Resulta válido destacar que:

- La Competencia del experto es Alta (A): Si  $K_{competencia} > 9,00$
- La Competencia del experto es Media (M): Si  $7 < K_{competencia} \leq 9,00$
- La Competencia del experto es Baja (B): Si  $K_{competencia} \leq 7$

Luego de terminar la selección el número de experto y el orden de las variantes según los criterios analizados mediante el método Delphi se procede a realizar una encuesta a los expertos para determinar, según su criterio, el orden de prioridad de las oportunidades de mejora teniendo en cuenta los criterios analizados para los cuales se darán los valores de 1 a 5 dando el valor de 5 la mejor opción.

El valor que posibilita decidir el nivel de concordancia entre los expertos se determina por el estadígrafo Kendall  $\omega$  (López Castellanos & Gil, 2006).

Como herramienta necesaria para la facilitación del análisis estadístico del Método Delphi, se elabora la Tabla 2.4.

**Tabla 2.4.** Valor del nivel de concordancia a partir de la Matriz de los criterios de expertos.

**Fuente.** Elaboración propia

Requisitos	Ponderación del experto								Indicadores				
	1	2	3	4	5	6	7	8	$\sum A_{ij}$	$\zeta$	$\Delta$	$\Delta^2$	$\Omega$
Oportunidad 1													
Oportunidad 2													
Oportunidad 3													
Oportunidad 4													
Oportunidad 5													
Oportunidad 6													
Oportunidad 7													
Oportunidad 8													
Oportunidad 9													

En la tabla 2.4,  $A_{ij}$  es el juicio de importancia del experto  $i$  sobre el requisito  $j$ ,  $\zeta$  el factor de comparación (valor medio de los rangos que se calcula según la Ecuación 2.54),  $\Delta$  es la desviación del valor del medio (Ecuación 2.51) y  $\omega$  es el nivel de concordancia.

$$T = \frac{1}{2} M (K + 1) . \quad \text{(Ecuación 2.54)}$$

donde K es el número de requisitos

$$\Delta = \sum A_{ij} - T \quad (\text{Ecuación 2.55})$$

El valor del estadígrafo Kendall  $\omega$  oscila entre 0 y 1. Para valores mayores de 0,7 se debe aceptar la decisión, para valores entre 0,45 y 0,7 se debe continuar el análisis y para valores menores de 0,45 se deben rechazar las decisiones de los expertos.

Este se calcula como se representa en la Ecuación 2.56.

$$\omega = 12 \sum \frac{\Delta^2}{M^2} (K^3 - K) \quad (\text{Ecuación 2.56})$$

M: es el número de expertos.

K: es el número de requisitos a evaluar.

Una vez calculado este valor, se puede decidir el nivel de concordancia entre el grupo de expertos seleccionado.

- **Validación del criterio de expertos.**

Para analizar y validar el criterio emitido por el grupo de expertos se realiza una prueba de hipótesis donde:

$$H_0: \omega = 0$$

Para muestras grandes  $k > 7$  y se utiliza de criterio de si  $X^2$  calculado  $> X^2$  tabulado,  $\alpha$ , y  $f = K-1$  se rechaza la hipótesis nula y se concluye que hay concordancia significativa entre los expertos:

$$x^2 \text{ calculado} = m(K - 1)\omega \quad (\text{Ecuación 2.57})$$

El grado de concordancia obtenido depende en gran medida de los expertos seleccionados y su preparación independientemente de las ecuaciones utilizadas para el cálculo de  $\omega$  (López Castellanos & Gil, 2006).

La Hoja de Ruta va a permitir establecer ejes estratégicos y líneas de acción, incorporando metas y plazos con el objetivo de alcanzar una visión compartida en un plazo determinado a partir del trabajo colaborativo con todos los actores de la cadena de valor, conducente al cumplimiento de compromisos para el cierre de brechas priorizadas durante la implementación de la misma.

El producto final es una hoja de ruta de oportunidades potenciales de Economía Circular para cada zona prioritaria identificada con el marco RESOLVE.

#### **2.3.4 Fase IV. Generar un plan de acción.**

En esta fase se elabora el plan de acción. Este es un documento que recoge las prioridades y líneas de acción a llevar a cabo por la empresa para integrar pautas de planificación, consumo, producción y compromiso circular en su estrategia de negocio y sus procesos interno

### ***CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS***

En este capítulo se dan a conocer los resultados de la propuesta metodológica ya planteada en el Capítulo II mediante la aplicación de las diferentes herramientas para medir la circularidad. Como respuesta a dicha propuesta metodológica el capítulo se conformó por cuatro fases fundamentales. Dichas fases son el resultado del diagnóstico de la empresa, el resultado de las herramientas para medir la circularidad, las oportunidades de mejora de la empresa con la hoja de ruta y por último la generación de un plan de acción en la Empresa GydeMa de Cienfuegos.

#### **3.1 Resultados del diagnóstico de la empresa.**

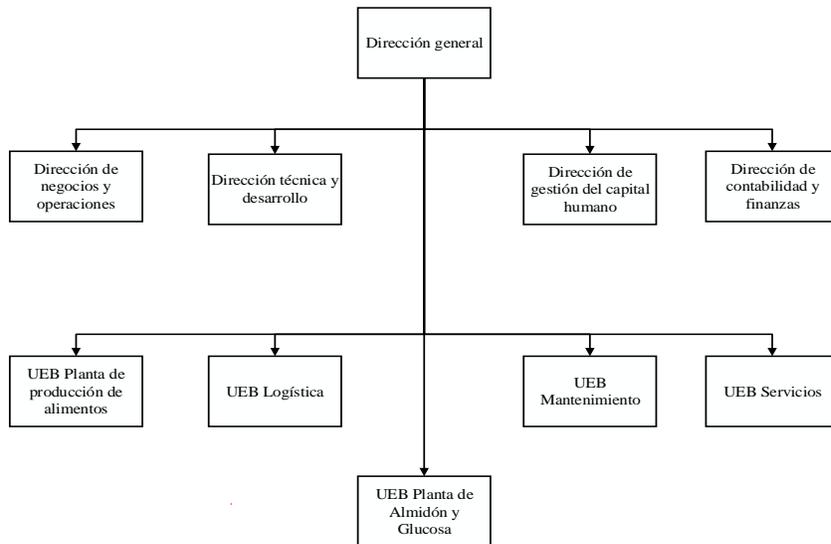
El presente informe busca cambiar el actual modelo económico lineal de producción y consumo de la Empresa GydeMa de Cienfuegos por uno circular. Este nuevo modelo aporta grandes beneficios a la empresa cuyo objetivo se basa en generar prosperidad económica, proteger el medio ambiente y prevenir la contaminación, facilitando así el desarrollo sostenible y a su vez alargar la vida útil del producto.

Los datos que se presentan en el trabajo están comprendidos desde enero de 2023 hasta agosto del mismo año. La investigación se basó únicamente en la producción de almidón de maíz perteneciente a la Empresa GydeMa de Cienfuegos. En la figura 3.1 se muestra la estructura organizativa de la empresa.

##### **3.1.1 Características y composición del producto final (almidón de maíz).**

El almidón es el principal constituyente del maíz y las propiedades fisicoquímicas y funcionales de este polisacárido están estrechamente relacionadas con su estructura. El almidón está formado por dos polímeros de glucosa: amilosa (estructura lineal) y amilopectina (estructura ramificada) (Agama Acevedo, et al., 2012).

Este compuesto es un carbohidrato, formado por biomoléculas compuestas de carbono, hidrógeno y oxígeno organizados generalmente en la razón  $C_n (H_2O)_n$  (donde  $n \in \mathbb{Z}$ ;  $n \geq 3$ ). La producción mundial de almidón aproximadamente el 83% es obtenido del maíz (Tovar Benítez, 2008).



**Figura 3.1.** Onigrama de la estructura organizativa de la Empresa GydeMa de Cienfuegos.

**Fuente.** Elaboración Propia.

### 3.1.2 Balance de masa y energía.

El balance de masa y energía es la cuantificación de entrada y salida de masa y energía en un proceso, ya sea de todo el proceso o de una parte del mismo. Es importante ya que, a través de ellos, se puede realizar el dimensionamiento de los equipos necesarios para la producción de acuerdo con las especificaciones requeridas (Alvarez Zapata, 2013).

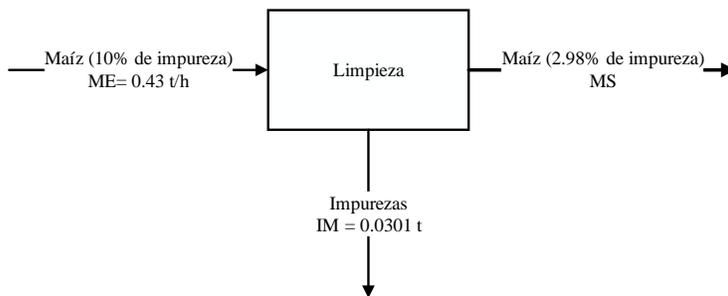
#### 3.1.2.1 Balance de masa en la sección de Recepción, Limpieza y Maceración de Maíz.

##### ➤ Balance en el tamiz

Se tomo como referencia la cantidad de maíz que pasó por el proceso de limpieza en los meses de febrero a agosto del 2023. Se calculó un promedio de la cantidad de maíz entrante al proceso de limpieza en esos meses.

En estos meses se pasó por la limpieza un total de 2192,83 t de maíz a razón de 0,43 t/h, con un con un 10% de impurezas, además por el análisis de control que se realiza y haciendo un

promedio de la cantidad de impurezas se conoce que el maíz limpio sale de esta etapa con un 2,98% de impurezas. Como el maíz posee un 10% de impurezas a la entrada de esta etapa y sale de la misma con un 2,98% de impurezas, podemos concluir que el 7,02% de las 0,43 t que entra a esta etapa son impurezas.



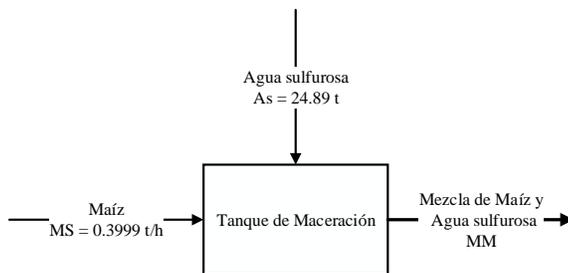
**Figura 3.2.** Balance de masa en el tamiz. **Fuente.** Elaboración Propia

Según el balance de materiales realizado y haciendo uso de la ecuación 2.1 salen de la etapa de limpieza 0,3999 t/h de maíz con un 2,98% de impurezas.

Los cálculos ver anexo 13

➤ **Balance en el tanque de maceración.**

El tanque de maceración tiene una capacidad de 60 m<sup>3</sup>, entran 0,3999 t/h y tendrá un volumen de agua sulfurosa de 25 m<sup>3</sup> y se sabe que su densidad a 30°C es de 995,7 kg/m<sup>3</sup>. Se desea obtener la cantidad de mezcla en el tanque.



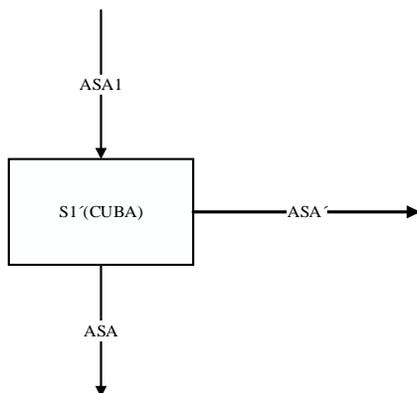
**Figura 3.3.** Balance de masa en el tanque de maceración. **Fuente.** Elaboración Propia

Según el balance de materiales realizado y haciendo uso de la ecuación 2.2 y 2.3 entra al proceso 24,89 t/h de agua sulfurosa y salen 25,29 t/h de Mezcla de maíz y agua sulfurosa.

Los cálculos ver anexo 14

➤ **Balance para la separación en el tanque de maceración.**

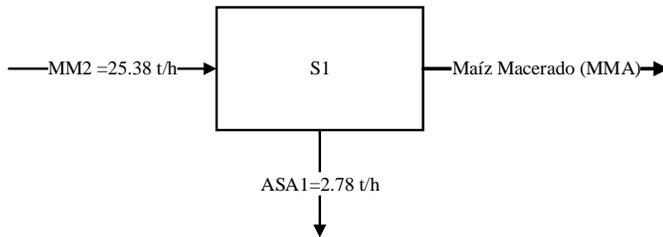
Es necesario conocer la cantidad de maíz macerado para su posterior etapa. Para esto contamos con las dimensiones de la cuba: su altura es de 40 cm, el largo de 2,48 m y su ancho de 96 cm.



**Figura 3.4.** Balance de masa para la separación de agua sulfurosa en el tanque de maceración. **Fuente.** Elaboración Propia.

Según el balance de materiales realizado utilizando la ecuación 2.4 para determinar la cantidad de agua sulfurosa que vota la cuba es  $m_{ASA} = 1,79$  t/h, y haciendo uso de la ecuación 2.5 podemos determinar la cantidad de agua sulfurosa separada que es  $m_{ASA1} = 2,78$  t/h.

Para saber la cantidad de maíz macerado que quedó en el tanque (MMA) y que luego se transportó a la siguiente etapa se realizó el siguiente balance.



**Figura 3.5.** Balance de masa para la separación de Maíz Macerado en el tanque de maceración. **Fuente.** Elaboración Propia.

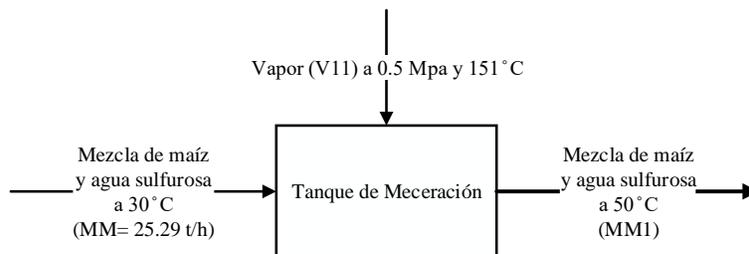
Según el balance de materiales realizado utilizando la ecuación 2.4 para determinar la cantidad de maíz macerado que se transportó a la siguiente etapa (MMA) es de 22,59 t/h.

Los cálculos ver anexo 15

### 3.1.2.2 Balance de energía en la sección de Recepción, Limpieza y Maceración de Maíz.

#### ➤ Balance de energía 1

Este balance se hace con el objetivo de saber la cantidad de aumento de la mezcla al condensarse el vapor (V11).



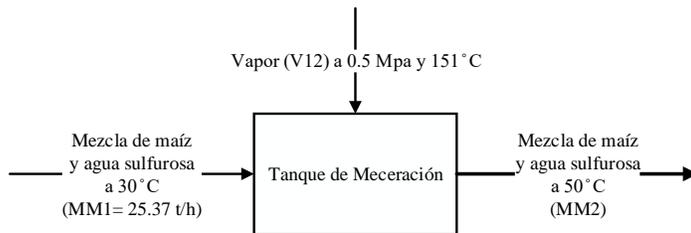
**Figura 3.6.** Balance de energía 1 en el tanque de maceración. **Fuente.** Elaboración Propia.

Luego de realizado el balance de energía y utilizando las ecuaciones de la 2.7 a la 2.10 determinamos que la masa de vapor V11 es de 0,079 t/h y la mezcla de maíz y agua sulfurosa a 50 °C (MM1) es de 25,37 t/h.

Los cálculos ver anexo 16

### ➤ Balance de energía 2

El objetivo de este balance de energía es conocer la cantidad de vapor (V12) a 0,5MPa y 151°C que se requerirá para mantener la temperatura de maceración a 50°C si se conoce que el calor que se pierde por disipación es un 20% del calor cedido por el vapor que se necesitó para calentar la mezcla.



**Figura 3.7.** Balance de energía 2 en el tanque de maceración. **Fuente.** elaboración Propia.

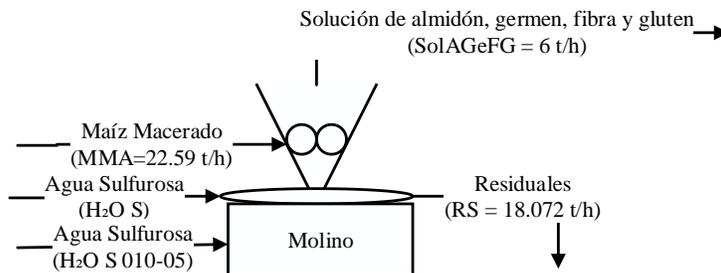
Luego de realizado el balance de energía y utilizando las ecuaciones 2.7 y 2.10 determinamos que la masa de vapor V12 es de 0,015 t/h y la mezcla de maíz y agua sulfurosa a 50°C (MM2) es de 25,38 t/h.

Los cálculos ver anexo 17

### 3.1.2.3 Balance de masa en la sección de Molienda húmeda Separación de Germen y Fibra.

#### ➤ Balance en el molino previo 1

El objetivo de este balance es conocer las cantidades de agua sulfurosa (H<sub>2</sub>O S) y agua sulfurosa de 010-05 (H<sub>2</sub>O S 010-05) que se entra en el molino previo 1.



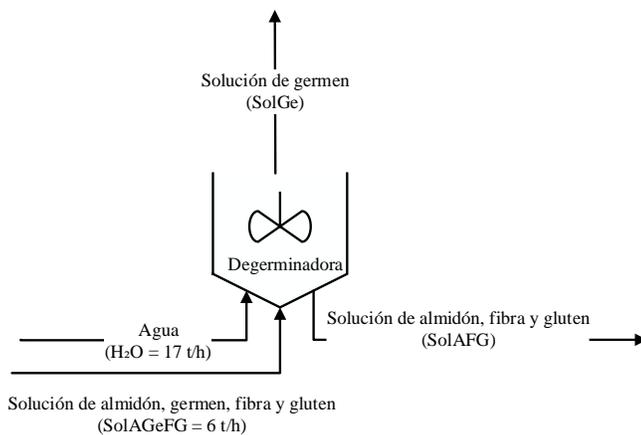
**Figura 3.8.** Balance de masa en el molino previo 1. **Fuente.** Elaboración Propia.

Según el balance realizado en el molino previo 1 utilizando las ecuaciones 2.11 y 2.12 se determinó las cantidades de agua sulfurosa ( $H_2O S$ ) y agua sulfurosa de 010-05 ( $H_2O S$  010-05) que entran al proceso de molienda:  $H_2O S = 0,072$  t/h y  $H_2O S$  010-05 = 1,41 t/h

Los cálculos ver anexo 18

### ➤ Balance en la degerminadora 3

El objetivo de este balance es conocer la cantidad de solución de germen (SolGe) y la solución de almidón, fibra y germen (SolAFG) que salen de la degerminadora.



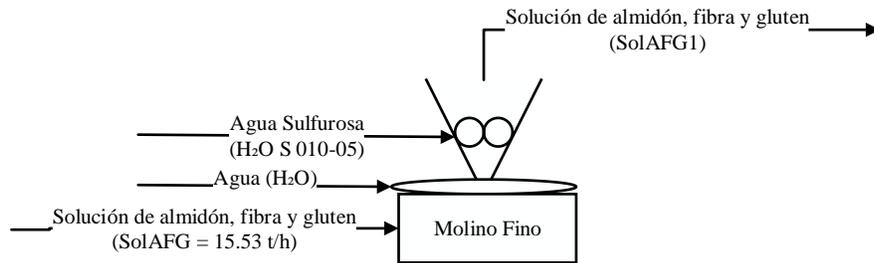
**Figura 3.9** Balance de masa en la degerminadora 3. **Fuente:** Elaboración propia

Una vez realizado el balance de masa en la degerminadora 3 utilizando las ecuaciones de la 2.13 a la 2.16 podemos decir que salen 7,13 t/h de solución de germen (SolGe) que pasan a residuales (elaboración de pienso líquido) y 15,53 t/h de solución de almidón, fibra y gluten (SolAFG) que pasan al molino fino.

Los cálculos ver anexo 19

### ➤ Balance en el molino fino

El objetivo de este balance es conocer la cantidad de solución de almidón, fibra y gluten (SolAFG1) que salen del molino fino y la cantidad de agua sulfurosa de 0.10-05 ( $H_2O S$  010-05) y agua ( $H_2O$ ) que entran esta etapa de molienda.



**Figura 3.10** Balance de masa en el molino fino. **Fuente:** Elaboración Propia

Con la realización de este balance de masa en el molino fino utilizando las ecuaciones de la 2.17 a la 2.19 podemos decir que entran al proceso de molienda fina 2,33 t/h de agua (H<sub>2</sub>O), 0,67 t/h de agua sulfurosa de 010-05 (H<sub>2</sub>O 010-05) y salen del molino fino 18,53 t/h de solución de almidón, fibra y gluten (SolAFG1) que pasarán a la posterior etapa.

Los cálculos ver anexo 20

#### 3.1.2.4 Balance de energía en la sección de Molienda húmeda Separación de Germen y Fibra.

El balance de energía se realizó en el molino previo 1 con el objetivo de conocer la cantidad de vapor (Q<sub>v</sub>) que sale de proceso de molienda, y a la velocidad (v) que sale el mismo.

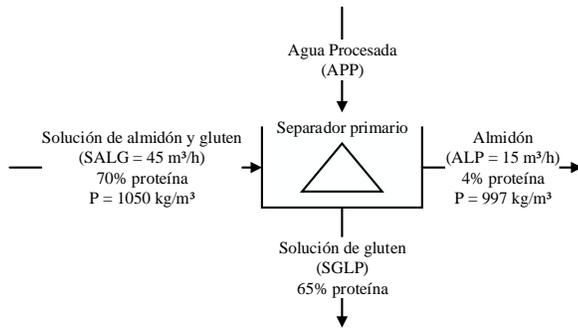
Una vez realizado este balance sale del proceso de molienda 0,95 m<sup>3</sup>/h de vapor (Q<sub>v</sub>) a una velocidad (v) de 484 m/h.

Los cálculos ver anexo 21

#### 3.1.2.5 Balance de masa en la sección de Refinación y Secado de Almidón.

##### ➤ Balance en el separador primario

Este balance tiene el objetivo de conocer las cantidades de Solución de almidón y gluten (Q<sub>mSAGL</sub>) y agua procesada (Q<sub>mAPP</sub>), que entran al separador primario y también las cantidades de almidón (Q<sub>mALP</sub>) y solución de gluten (Q<sub>mSGLP</sub>) que salen del separador primario.



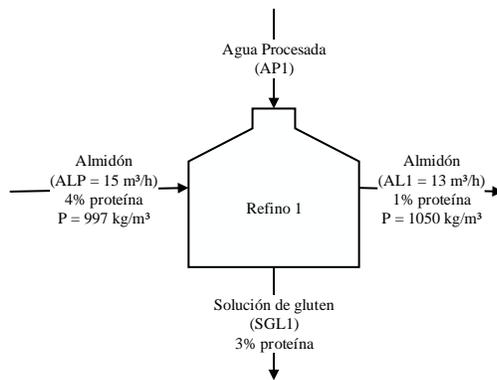
**Figura 3.11** Balance de masa en el separador primario. **Fuente:** elaboración Propia

Luego de haber realizado el balance de masa utilizando las ecuaciones de la 2.22 a la 2.24 podemos determinar que entró al separador primario 47,25 t/h de solución de germen y gluten (SALG) y 17,65 t/h de agua procesada (APP), también se determinó que a la salida del proceso hay 49,95 t/h de solución de gluten (SGLP) y 14,95 t/h de almidón (ALP).

Los cálculos ver anexo 22

➤ **Balance en el refino 1**

Este balance tiene el objetivo de conocer la cantidad de agua procesada ( $Q_{mAP1}$ ), que entra al refino 1 y también las cantidades de almidón ( $Q_{mAL1}$ ) y solución de gluten ( $Q_{mSGL1}$ ) que salen del refino 1.



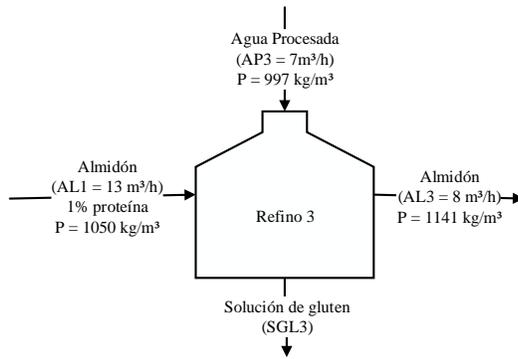
**Figura 3.12** Balance de masa en el refino 1. **Fuente:** Elaboración Propia

Luego de haber realizado el balance de masa utilizando las ecuaciones 2.25 y 2.26 podemos determinar que entró al refino 1, 14,03 t/h de agua procesada (AP1), también se determinó que a la salida del proceso hay 15,33 t/h de solución de gluten (SGL1) y 13,65 t/h de almidón (ALP).

Los cálculos ver anexo 23

➤ **Balance en el refino 3**

Este balance tiene el objetivo de conocer la cantidad de solución de gluten ( $Q_{mSGL3}$ ) que salen del refino 3.



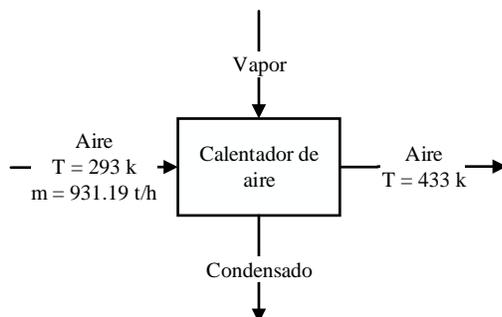
**Figura 3.13** Balance de masa en el refino 3. **Fuente:** Elaboración Propia

Luego de haber realizado el balance de masa utilizando la ecuación 2.27 podemos determinar que salió del refino 3, 11,5 t/h de solución de gluten (SGL3).

Los cálculos ver anexo 24

**3.1.2.6 Balance de energía en la sección de Refinación y Secado de Almidón.**

El objetivo de este balance es conocer la cantidad de aire ( $Q_g$ ) que sale del calentador y la masa de vapor ( $m_{vapor}$ ) que entra al mismo



**Figura 3.14** Balance de energía en el calentador de aire. **Fuente:** Elaboración Propia

El resultado de este balance determinó que entra al calentador de aire 0,00186 t/h de vapor y salen 899 kcal/h de aire.

Los cálculos ver anexo 25

### 3.1.3 Puntos críticos

#### 3.1.3.1 Puntos críticos en la sección de Recepción, Limpieza y Maceración de Maíz.

- Derrame de maíz, tusas, polvo y maíz partido

En la zona de recepción, se lleva a cabo la pesada del maíz utilizando una báscula, con el fin de trasladarlo posteriormente a los silos de almacenamiento y, finalmente, a la zona de limpieza. Debido al mal estado de los equipos de transporte, como los transportadores de cangilones, tanto horizontales como verticales, así como las zarandas y tamices, se produce un gran derrame de este producto en el suelo. Además, se genera una considerable cantidad de polvo que se dispersa por toda el área. Actualmente, solo se dispone de un filtro para el polvo, el cual ha sido reparado, mientras que otro se encuentra fuera de servicio. Liberando un gran número de toneladas de polvo anualmente al medio ambiente. Es importante destacar que la limpieza en esta sección es deficiente.

- Desprendimiento de  $\text{SO}_2(\text{g})$ . de la torre de absorción y local donde se encuentra el quemador de azufre.

Durante el proceso de combustión del azufre sólido, que se utiliza en las torres de absorción para obtener agua sulfurosa, se producen emisiones de gases en el quemador, así como en las

juntas de las tuberías y en la parte superior de las torres. Estos vapores se dispersan por toda el área de la sala, lo que provoca una gran contaminación atmosférica. Los niveles de olor superan el umbral de olor de 0,5 ppm (1 mg/m<sup>3</sup>), que es detectable por el olfato humano. La exposición a este producto puede causar tos, asfixia y congestión bronquial al ingresar al área. Es importante tomar medidas para reducir esta contaminación y proteger la salud de las personas presentes en el entorno.

- Derrame de maíz a la salida de los tanques para la etapa de molinación.

El maíz macerado se transporta a través de tuberías o cangilones hacia el área de molinación. Sin embargo, las válvulas de salida de los tanques de maceración se encuentran en mal estado, lo que provoca derrames de maíz en el suelo. Durante la limpieza de esta sección, estos derrames se convierten en residuos que deben ser tratados adecuadamente. Es importante solucionar el problema de las válvulas defectuosas para evitar los derrames y asegurar un proceso de transporte y limpieza más efectivo.

- Flotante de los tanques en mal estado.

Los flotantes de las cubas de almacenamiento se encuentran en mal estado, lo que ocasiona fugas de este producto hacia los residuos de la fábrica, resultando en derrames de sustancias. Es necesario reparar o reemplazar los flotantes defectuosos para prevenir estas fugas y evitar los derrames de manera adecuada. Esto garantizará un manejo seguro y eficiente de los productos almacenados en las cubas de la fábrica.

### **3.1.3.2 Puntos críticos en la sección de Molienda húmeda, Separación de Germen y Fibra.**

- Derrame de carga del proceso en las lavadoras de fibra fina por averías imprevistas.

Existen cuatro lavadoras de tamices cónicos que están diseñadas para realizar el lavado de fibras finas en el proceso. Estas lavadoras contienen mallas metálicas y plásticas en su interior, las cuales permiten el flujo adecuado del proceso mientras retienen las fibras finas después del lavado. Sin embargo, las mallas están sujetas por un aro y los tornillos de ajuste son de acero negro, lo cual hace que sean propensos a la corrosión en este entorno. Esto ocasiona un deterioro de los tornillos, lo que resulta en averías en el interior de las lavadoras. Como resultado, la carga de los equipos receptores se dispersa hacia el alcantarillado. Esta

situación provoca tanto la pérdida del producto como daños al medio ambiente. Es fundamental abordar este problema corrigiendo la corrosión de los tornillos mediante la utilización de materiales resistentes al deterioro en este entorno. Esto ayudará a prevenir las averías en el interior de las lavadoras y evitará la dispersión no deseada del producto hacia el alcantarillado. De esta manera, se reducirán las pérdidas y se protegerá el medio ambiente.

- Desecho de la suspensión acuosa que contienen las degerminadoras por averías imprevistas.

Dentro del proceso de molinación, las tres degerminadoras con una capacidad de carga de 2m<sup>3</sup> cada una son las más importantes. Si se produce una parada repentina debido a defectos no anticipados, el material se descarta directamente al alcantarillado ya que se sedimenta rápidamente. Esta situación podría resultar en la rotura de los ejes y agitadores de paletas, además de interrumpir la continuidad del proceso.

- Derrame de agua del proceso por regulador de nivel fuera de servicio (tanque 010-05)

El propósito de este tanque en el proceso de molinación es recibir y gestionar toda el agua producida por el proceso, incluyendo la proveniente de los tornillos deshidratadores, lavadoras de fibras gruesas, la pantalla de deshidratación y las lavadoras de germen. También se encarga de regular el suministro de agua sulfurosa procedente de la torre número 3 de absorción. Debido a la escasez de recursos, el sistema que regula estas aguas está actualmente fuera de servicio, lo que ha provocado derrames de líquido con una composición específica.

- Pérdida de maíz por avería en la prensa de forraje.

Para realizar la etapa de molinación de manera efectiva, es crucial mantener la continuidad en el proceso tecnológico. Las prensas, al igual que cualquier otro equipo en esta sección, pueden detener por completo el funcionamiento debido a contratiempos imprevistos, lo que resulta en un derrame de una gran cantidad de carga y, por ende, en la pérdida de materia prima. Durante los últimos dos años de producción, el proceso ha sufrido interrupciones debido a averías en la prensa de forraje.

- Derrame de productos por averías en los molinos (molino fino)

Durante las actividades tecnológicas, pueden presentarse fallos inesperados en la sección de molienda. Esto ocasiona que la carga de proceso se vierta en el alcantarillado, lo que a su vez deteriora los niveles de consumo establecidos y conlleva a la generación de niveles excesivos de contaminación.

### **3.1.3.3 Puntos críticos en la sección de Refinación y Secado de Almidón.**

- Máquinas centrifugas fuera de servicio.

La ausencia de algunas de estas máquinas en funcionamiento resultará en una separación y limpieza del almidón que no cumplirá con los estándares establecidos, lo que requerirá la implementación de diferentes enfoques para mantener la calidad del producto. Entre las medidas que se podrían tomar se encuentran el aumento del agua empleada en el proceso de lavado o la reducción de la capacidad de transferencia, es decir, disminuir el flujo de entrada. Cualquiera de estas alternativas conllevará a un mayor consumo de agua y electricidad. En el caso del concentrador de gluten, cuando se encuentra fuera de servicio, aunque ya no se puede obtener harina de gluten en forma seca para el alimento animal, este concentrado líquido se vende con ese propósito específico, aunque a un precio menor. Sin embargo, si la máquina está fuera de servicio, el líquido se derrama en el suelo y se trata como un residuo más, lo que resulta en pérdidas económicas y ambientales significativas.

- Salidero de agua por sellos mecánicos.

Los sellos mecánicos desempeñan un papel fundamental en la hermeticidad de los equipos dinámicos. En esta área, se utilizan diversos tipos de sellos, y la calidad de estos componentes influye significativamente en los resultados obtenidos, así como en la capacidad para prevenir fugas de agua y productos, las cuales ocasionarían pérdidas sustanciales durante el proceso. Como parte de este esfuerzo, se han diseñado y fabricado sellos mecánicos de alta calidad que aseguran la estanqueidad de los equipos por donde se transporta la lechada de almidón, así como el agua y las soluciones ácidas y básicas utilizadas en el proceso de desinfección. Esta iniciativa tiene como objetivo evitar derrames significativos de estas sustancias, los cuales no solo implican una gran cantidad de agua para su limpieza, sino que también representan una carga residual adicional vertida en un ecosistema natural, como lo es la Bahía de Cienfuegos.

➤ Derrame de producto en las cajas de agua del proceso

Las aguas de filtrado que se producen en varias etapas, arrastrando consigo una cierta cantidad de almidón, terminan rebosando hacia el alcantarillado debido a fallos en el control de nivel de las cajas de proceso, conocidas como "kalle". Estos mecanismos de control, debido a su prolongado tiempo de uso, presentan un estado técnico deficiente, lo que ocasiona roturas frecuentes y, en última instancia, impide que cumplan con su propósito original. Como resultado, el agua que rebosa de las cajas termina siendo dirigida hacia la planta de residuos, lo que nos obliga a reponer agua fresca en el proceso para restablecer el equilibrio, generando así un considerable gasto de agua.

➤ Falta de regulación en el sistema de desaguado.

El sistema de regulación en la sección de desaguado de almidón permitía accionar sobre una serie de parámetros que favorecían la calidad del producto y el ahorro de portadores energéticos, evitando derrames de producto y facilitando las operaciones de control por parte de los operarios. El filtro rotativo de vacío tenía un variador de velocidad que permitía disminuir o aumentar sus rpm de acuerdo a las necesidades del sistema, como por ejemplo si la temperatura a la salida del secador de almidón esta alta, por encima de los 600 c eso indica que la densidad esta baja o se necesita más capacidad de producto en el sistema lo cual se puede lograr aumentando la velocidad del filtro y de los tornillos transportadores y en caso de que los temperatura este baja se puede hacer lo contrario. En la actualidad como estos sistemas motrices están fijos se recurren a otros procedimientos para lograr estabilizar las temperaturas como son arrancar más producto adherido al filtro con las cuchillas de arrastre, con el inconveniente de que se derrame producto en los tornillos de transporte o parte de este almidón por su humedad se compacta en los mismos teniendo que limpiarse con agua y desecharlo como residual.

### **3.1.4 Políticas existentes relacionadas con la Economía Circular.**

A pesar de haber identificado distintos puntos críticos, la Empresa GydeMa de Cienfuegos se ha encaminado hacia una Economía Circular, a continuación, en la tabla 3.1 se presentan políticas existentes en la empresa relacionadas con el medio ambiente:

Código	Documento	Descripción
ISO 14001:2015	Sistema de Gestión Ambiental. Requisitos con orientación para su uso.	Esta norma se centra en establecer un sistema de gestión ambiental efectivo en una organización, lo que incluiría la planificación y ejecución de acciones para mitigar impactos ambientales negativos, así como el cumplimiento de requisitos legales y otros compromisos relacionados con el medio ambiente. La aplicación de esta norma en una empresa de producción de almidón de maíz puede ayudar a garantizar que se apliquen prácticas sostenibles en todas las etapas del proceso de producción.
ISO 14044:2006	Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida Requisitos y directrices	Esta norma proporciona directrices para evaluar el impacto ambiental de un producto a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la producción de materias primas hasta la disposición final. En el caso de una empresa de producción de almidón de maíz, un análisis del ciclo de vida ayudaría a identificar áreas donde se podrían mejorar las prácticas de gestión ambiental y reducir el impacto ambiental del producto.
ISO 50001:2018	Guía de implementación de sistemas de gestión de la energía.	Esta norma se centra en la implementación de un sistema de gestión de la energía efectivo, lo que incluiría la identificación de oportunidades para mejorar la eficiencia energética en el proceso de producción de almidón de maíz, así como el seguimiento y la medición del desempeño energético.

**Tabla 3.1.** Políticas relacionadas con la Economía Circular en la empresa GydeMa de Cienfuegos. **Fuente.** Elaboración Propia.

### 3.1.5 Resultados del diagnóstico

Después de examinar detenidamente el caso de estudio y considerar los aspectos clave, así como las políticas existentes, además de llevar a cabo diversas encuestas a los gerentes y empleados de la planta, se logró llevar a cabo un análisis exhaustivo de la fábrica utilizando la herramienta Circular Trans.

El cálculo del nivel de madurez se basa en los valores obtenidos en las diferentes secciones del diagnóstico, que incluyen el proceso estratégico, los procesos operativos y los procesos de apoyo, los cuales están relacionados con las estrategias de la Economía Circular.

Nivel	Valores	Descripción
1	1 - 1, 8	<b>INCIPIENTE:</b> Se caracteriza con acciones limitadas y acciones legalmente exigidas.
2	1, 8 - 2, 6	<b>BÁSICO:</b> Hay indicios de que la organización desea alinear su actividad a la Economía Circular.
3	2, 6 - 3, 4	<b>OPERATIVO:</b> Las formas de trabajar se alinean con la Economía Circular, aunque el trabajar sobre la Economía Circular no esté estructurada.
4	3, 4 - 4, 2	<b>COMPROMISO:</b> La propuesta de valor de la organización está alineada con las estrategias de la Economía Circular. Se destaca por la innovación en producto / servicio / producción.
5	4, 2 - 5	<b>ESTRATÉGICO:</b> Formas organizativas, el modelo de negocio y la creación de valor totalmente alineadas con la Economía Circular. Se destaca por la innovación en el modelo de negocio.

**Tabla 3.2** Definición de escala empleada para definir el nivel de madurez. **Fuente.** Elaboración Propia.

#### Valoración global:

- Nivel Operativo: 2.4/5

La organización se encuentra en un nivel inicial, específicamente en el nivel 2, tal y como se muestra en la figura 3.14 se evidencia un interés en adoptar la economía circular como base para su modelo de negocio. En este punto, la organización tiene la oportunidad de dar los primeros pasos hacia la transición hacia la economía circular.



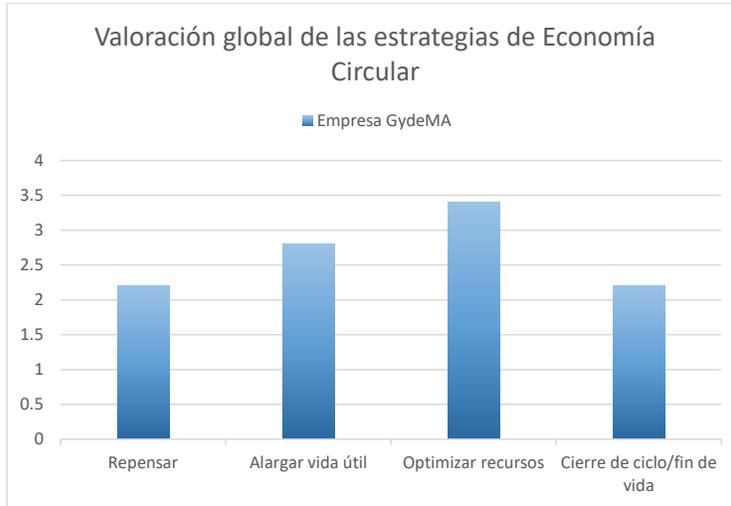
**Figura 3.15** Nivel de madurez de la Empresa GydeMa de Cienfuegos. **Fuente.** (CircularTRANS, 2021).

Además, los resultados también se dividen en los tres niveles del contexto interno: procesos estratégicos, procesos operativos y procesos de apoyo. Estos niveles se evalúan en una escala del 1 al 5, reflejando los valores correspondientes.

- **Procesos estratégicos: 2.8/5** la estrategia de la unidad de negocio analizada está orientada hacia la economía circular. Aun así, hay aspectos que se podrían mejorar.
- **Procesos operativos: 1.8/5** los procesos operativos de la unidad de negocio no están orientados hacia la economía circular. No hay evidencia de que se trabaje acorde a los principios de la economía circular. Hay varios aspectos que se podrían tener en cuenta.
- **Procesos de apoyo: 3.1/5** los procesos de apoyo de la unidad de negocio están orientados hacia la economía circular. Aun así, hay aspectos que se podrían trabajar.

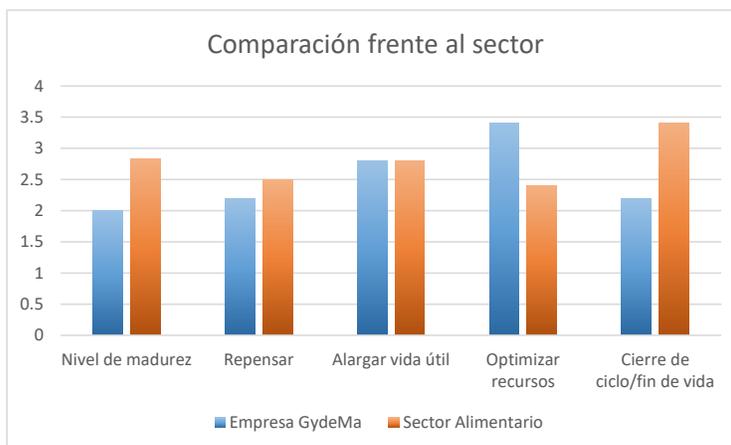
**Valoración global de las estrategias de Economía Circular:**

- Repensar: 2.2/5
- Alargar vida útil: 2.8/5
- Optimizar recursos: 3.4/5
- Cierre de ciclo/fin de vida: 2.2/5



**Figura 3.16** Valoración global de las estrategias de Economía Circular. **Fuente.** Elaboración Propia.

Luego de haber realizado una valoración global de las estrategias de Economía Circular, la cual se muestra en la figura 3.16 llegamos a la conclusión que la estrategia optimizar recursos es la que más incide en la Empresa dentro de las otras tres.



**Figura 3.17** Comparación frente al sector. **Fuente.** Elaboración Propia.

En la Figura 3.17 se puede observar una comparación entre la Empresa GydeMa y el Sector Alimentario haciendo un análisis de las diferentes estrategias de la empresa como son: nivel de madurez, repensar, alargar la vida útil, optimizar recursos y cierre de ciclo / fin de vida. Para realizar la comparación se escoge el Sector Alimentario ya que la producción de almidón de maíz de la Empresa GydeMa pertenece al sector de la alimentación y se compara con los Índices de América Latina pues en Cuba no existen estudios presentes de Economía Circular con respecto a esta producción.

Se puede ver como la estrategia optimizar recursos está por encima del Índice del Sector Alimentario calculado en América Latina. Esto nos da una idea de la conciencia, de la estrategia que tiene la empresa para optimizar recursos. Podemos observar que la estrategia alargar la vida útil esta igual que el Índice del Sector Alimentario, con esto podemos afirmar que la empresa va por buen camino hacia la transición a un modelo circular. Mientras que el nivel de madurez, repensar, y cierre de ciclo / fin de vida están por debajo del Índice del Sector Alimentario por lo que la empresa debe enfatizar más en estas tres últimas estrategias. En el Anexo 26 se presentan las oportunidades que la organización puede convertir en propias para transitar hacia un modelo de negocio más circular o para fortalecer su propuesta de valor en Economía Circular.

### **3.2 Resultados de las herramientas para medir circularidad.**

Después de recopilar los datos necesarios en la Empresa GydeMa, se procede a calcular varios índices con el fin de evaluar el nivel de circularidad de la fábrica. Este proceso permitirá medir cómo la empresa gestiona sus recursos, residuos y la duración efectiva de vida de sus productos, centrándose en la sostenibilidad y la eficiencia. Al calcular estos índices, la empresa obtendrá información detallada sobre su desempeño en términos de circularidad, lo que le ayudará a identificar áreas específicas que puedan necesitar atención o mejoras.

#### **❖ Producto**

**Flujo lineal actual del producto:** Empleando la Ecuación 2.35, 2.36 y 2.37 donde  $W_F = W_C = 0$  porque no existe la producción de materia prima reciclada ni existe un proceso de reciclaje.

$$W = 7.05 \text{ t}$$

$$V = 8.217 \text{ t}$$

$$\text{IFL} = 0.83$$

Los cálculos ver anexo 27

Los valores de flujo lineal actual del producto oscilan entre 0 y 1, mientras más cerca esté de 1 el producto será más lineal. Por tanto, el Índice de flujo lineal actual del almidón de maíz con un valor de 0,83 es lineal.

### **Potencial de recuperación y recuperación real**

Esta salida no es recuperable: el potencial de recuperación y recuperación real es de un 0 %.

#### **❖ Entrada**

### **Índice de consumo de materia prima**

Empleando la Ecuación 2.41 se obtiene que:

$$\text{Índice de consumo de materia prima} = 13.77\%$$

Los cálculos ver anexo 28

### **Índice de input de material total (N)**

Empleando la ecuación 2.42 obtenemos:

$$N = \text{Maíz}$$

$$N = 0.43 \text{ t} = 430 \text{ kg}$$

### **Indicador porcentual de materia circular respecto al input total (P)**

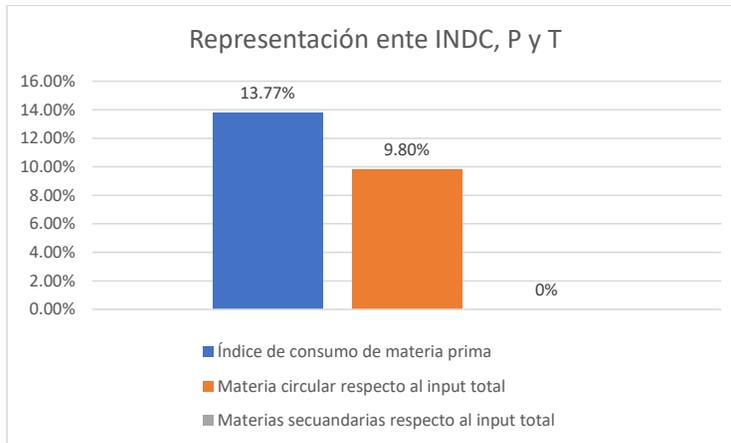
Empleando la ecuación 2.43 obtenemos:

$$P = \frac{42.5 \text{ kg}}{430 \text{ kg}}$$

$$P = 9.8 \%$$

### Indicador porcentual de materias secundarias respecto al input total (T)

T = 0%



**Figura 3.18** Comparación entre los índices. **Fuente.** Elaboración Propia.

La Empresa GydeMa presentó un Índice de consumo de materia prima de 13.77 % respecto al Indicador porcentual de materia circular respecto al input total de 9.8 %; estos indicadores nos dejan apreciar que la empresa tiene una media-baja circularidad de las materias primas y que no presenta materias secundarias y su valor es de 0 %. La relación del consumo de materia prima respecto al material circular que entra es de un 26,76 % mientras que no existe relación del consumo de materia prima respecto a las materias secundarias ya que dentro del proceso no existe consumo del material secundario.

#### ❖ Agua

#### Índice de consumo de agua (ICA)

Utilizando la ecuación 2.46 nos da como resultado:

$$ICA = 33.33\%$$

Los cálculos ver anexo 29

### **Proporción de agua reutilizada (PAR)**

Según la ecuación 2.47 tenemos como resultado:

$$PAR = 0\%$$

Los cálculos ver anexo 30

En el proceso de elaboración de almidón de maíz el Índice de consumo de agua es de 33, 33 % y no existe proporción de agua reutilizada.

### **❖ Energía**

#### **Por ciento (%) de energía renovable (ER)**

Utilizando la ecuación 2.48 tenemos:

$$ER = 0\%$$

Los cálculos ver anexo 31

#### **Energía total que se consume (ET)**

$$ET = 21700.58 \text{ kW}$$

En el proceso de elaboración de almidón de maíz no existe energía renovable, la energía total que se consume durante 10 meses es de 21700.58 kW

### **❖ Residuos**

#### **Circularidad de los residuos (CR)**

Utilizando la ecuación 2.49

$$CR = \frac{\text{Residuos aprovechados}}{\text{Recursos generados}} = 0\%$$

La circularidad del residuo es baja ya que se encuentra en un rango según (Hoof et al., 2022) < 5% obteniéndose un valor de 0 %.

## ❖ Recuperación

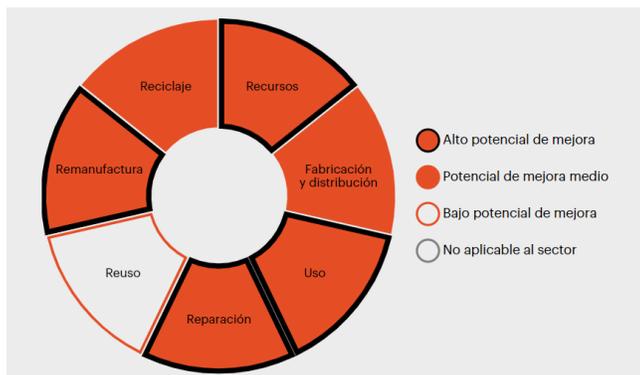
### Cantidad de materiales reutilizados (CMR)

Utilizando la ecuación 2.50

$$CMR = \frac{\text{Masa total de materiales reutilizados}}{\text{Masa total de materiales consumidos en fabricación}} = 0\%$$

En el proceso de elaboración de almidón de maíz no existen materiales reutilizados.

Una vez calculado todas las herramientas de circularidad aplicadas a esta empresa podemos decir que el índice de circularidad de la planta calculado por la herramienta Inedit que no fueron más que encuestas realizadas a los trabajadores, tecnólogos y directivos de la fábrica, dió un valor de 30 %, por lo que ante este resultado se identificaron varias oportunidades de mejora y por el gráfico circular (Figura 3.19) que se presenta a continuación se puede observar las áreas de mejora de cada recurso.



**Figura 3.19** Áreas de mejora de cada recurso en la empresa. **Fuente.** Elaboración Propia.

### 3.3 Oportunidades de mejora (Hoja de ruta)

Después de haber completado un análisis detallado del proceso de elaboración de almidón de maíz, se identificaron áreas que requieren mayor atención, específicamente en lo relacionado con el reciclaje, la gestión energética, la reutilización del agua y la circularidad de los residuos, así como en cuanto al nivel de madurez, replanteamiento y gestión del fin de vida. Para abordar estas problemáticas, se han seleccionado 8 oportunidades de mejora. Con el fin

de asignar prioridades a estas oportunidades, se llevó a cabo un criterio de expertos, involucrando a 9 expertos, para llevar a cabo una toma de decisiones de grupo. Cada experto evaluó cada oportunidad del 1 al 5, donde 5 representa la mejor opción. A partir de las evaluaciones de los expertos, se estableció un orden de prioridad para las oportunidades, clasificándolas según su importancia.

### **Oportunidades de mejoras**

- Oportunidad 1: Valorar incorporar la economía circular a la estrategia de la organización.
- Oportunidad 2: Valorar redirigir la organización hacia la innovación de modelos de negocio circulares.
- Oportunidad 3: Valorar si ofrecer soluciones de economía circular a los productos en su fin de vida puede ser estratégico.
- Oportunidad 4: Valorar aumentar la inversión en iniciativas de economía circular.
- Oportunidad 5: Valorar el empleo de materiales reciclados en lugar de material virgen.
- Oportunidad 6: Valorar cómo comunicar los pasos que debe seguir el cliente una vez el producto quede en desuso.
- Oportunidad 7: Valorar incorporar criterios en los lotes de compra que minimice el impacto ambiental.
- Oportunidad 8: Valorar ofrecer materiales reciclados.

En la Tabla 3.3 se presentan los resultados obtenidos a través del método de Delphi. En esta tabla se exhiben las respuestas de los expertos en función de su orden de importancia asignado a las distintas oportunidades de mejora. Además, se realiza el cálculo del coeficiente de Kendall y se lleva a cabo una prueba de hipótesis para evaluar el grado de convergencia entre los expertos

Si el coeficiente de Kendal es menor que 1 hay concordancia entre los criterios de los expertos, y como es 0, 9 se cumple la anterior afirmación.

Alternativa	Experto									Cálculo de los indicadores				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$\Sigma A_i$	$\zeta = \frac{\Sigma A_{ij}}{M(K+1)/2}$	$\Delta = \Sigma A_{ij} - \zeta$	$\Delta^2$	$\omega = \frac{12\Sigma\Delta^2}{M^2(K^3-K)}$
1 Oportunidad 1	2	5	3	1	3	2	2	1	2	21		-24	576	
2 Oportunidad 2	5	3	4	4	4	5	4	5	5	39		-6	36	
3 Oportunidad 3	1	4	1	1	3	1	1	1	1	14		-31	961	
4 Oportunidad 4	5	1	1	5	3	4	4	2	4	29		-16	256	
5 Oportunidad 5	5	4	3	1	4	2	5	4	5	33		-12	144	
6 Oportunidad 6	3	2	3	2	2	4	5	2	1	24		-21	441	
7 Oportunidad 7	2	5	4	4	5	5	2	5	2	34		-11	121	
8 Oportunidad 8	1	1	1	1	1	5	5	1	1	17		-28	784	
										211	45		3319	0,9

**Tabla 3.3** Cálculo de los indicadores **Fuente.** Elaboración Propia

Orden de importancia		
1	Valorar redirigir la organización hacia la innovación de modelos de negocio circulares.	39
2	Valorar incorporar criterios en los lotes de compra que minimice el impacto ambiental.	34
3	Valorar el empleo de materiales reciclados en lugar de material virgen.	33
4	Valorar aumentar la inversión en iniciativas de economía circular.	29
5	Valorar cómo comunicar los pasos que debe seguir el cliente una vez el producto quede en desuso.	24
6	Valorar incorporar la economía circular a la estrategia de la organización.	21
7	Valorar ofrecer materiales reciclados.	17
8	Valorar si ofrecer soluciones de economía circular a los productos en su fin de vida puede ser estratégico.	14

**Tabla 3.4** Orden de importancia **Fuente.** Elaboración Propia

Según los expertos los resultados de la Tabla 3.4 muestra que, por orden de importancia, la oportunidad de Valorar redirigir la organización hacia la innovación de modelos de negocio circulares es la mejor opción.

Prueba de hipótesis		
número de alternativas	K	8
número de expertos	M	9
chi cuadrado calculado, $\delta x^2$ calculado	M (K-1) $\omega$	56.7
chi cuadrado tabulado, $x^2$ tabulado	$X^2 (0,01,19)$	21, 7

**Tabla 3.5** Prueba de hipótesis **Fuente.** Elaboración Propia

En este caso el  $x^2$  calculado  $>$   $x^2$  tabulado, existe concordancia de criterios entre expertos, según el método de Delphi la mejor oportunidad de Economía Circular identificada en la fábrica es Valorar redirigir la organización hacia la innovación de modelos de negocio circulares y la de menor importancia Valorar si ofrecer soluciones de economía circular a los productos en su fin de vida puede ser estratégico., esto no quiere decir que no se pueda aplicar, siempre que se pueda será mucho mejor.

## Oportunidades

### 1. Valorar redirigir la organización hacia la innovación de modelos de negocio circulares.

Se refiere a apreciar la importancia de orientar la empresa hacia la creación e implementación de nuevos enfoques comerciales que sean más sostenibles y circulares. Esto implica reconocer la necesidad de reevaluar y ajustar la forma en que la organización opera, centrándose en la adopción de prácticas comerciales que fomenten la reutilización, el reciclaje, la eficiencia en el uso de recursos y la reducción de residuos. En lugar de seguir un modelo lineal de producción y consumo, la innovación de modelos de negocio circulares busca crear un sistema más integrado y sostenible, donde los productos y los recursos se

utilizan de manera más eficiente y se reintegran al ciclo económico y ambiental de manera productiva. Esto implica una reevaluación de la cadena de suministro, el diseño de productos, los procesos de fabricación y la relación con los clientes, con el objetivo de generar valor de manera más sostenible y en armonía con el medio ambiente.

## **2. Valorar incorporar criterios en los lotes de compra que minimice el impacto ambiental.**

Considera activamente aspectos ambientales al adquirir productos o materiales para la empresa. Esto incluye evaluar no solo el costo y la disponibilidad, sino también el impacto ambiental asociado con dichos productos o materiales a lo largo de su ciclo de vida. Incorporar criterios ambientales en los lotes de compra implica priorizar la adquisición de productos que sean producidos de manera sostenible, que tengan empaques ecoamigables, que minimicen residuos, que provengan de fuentes renovables o recicladas, que sean energéticamente eficientes, entre otros aspectos. Esto puede incluir la preferencia por proveedores que tengan certificaciones ambientales, el uso de materiales reciclados o biodegradables, la minimización del transporte o empaques innecesarios, entre otros criterios. Este enfoque no solo puede beneficiar al medio ambiente, sino que también puede impactar positivamente la percepción de la empresa en la sociedad, considerando cada vez más importante el compromiso con prácticas sostenibles y responsables.

## **3. Valorar el empleo de materiales reciclados en lugar de material virgen**

Considera activamente el uso de materiales reciclados como alternativa al material nuevo o virgen en los procesos de fabricación y producción. Esto puede incluir la evaluación de la disponibilidad, la calidad, las propiedades técnicas y el impacto ambiental al optar por materiales reciclados en lugar de aquellos que provienen de fuentes no renovables.

## **4. Valorar aumentar la inversión en iniciativas de economía circular**

Reconoce la importancia de considerar dedicar más recursos financieros y operativos a proyectos y programas que fomenten la economía circular dentro de la organización. Esto incluye el apoyo a iniciativas que promuevan la reutilización de materiales, la reducción de residuos, la extensión de la vida útil de los productos, el reciclaje y la renovación de recursos.

Aumentar la inversión en estas iniciativas puede abarcar desde la adquisición de tecnologías y procesos de fabricación más sostenibles, hasta el fomento de la innovación en el diseño de productos y enfoques de gestión de la cadena de suministro que prioricen la circularidad. Además del impacto directo en la sostenibilidad y la responsabilidad social, la inversión en economía circular también puede mejorar la percepción de la empresa, tanto entre los consumidores como entre los inversores y otras partes interesadas, que cada vez más valoran el compromiso con prácticas empresariales sostenibles.

**5. Valorar cómo comunicar los pasos que debe seguir el cliente una vez el producto quede en desuso.**

Implica reconocer la importancia de considerar el ciclo de vida completo de un producto, incluyendo su disposición final, una vez que ya no es utilizado. Esto implica evaluar cómo la empresa puede comunicar de manera efectiva a sus clientes las acciones recomendadas para el manejo adecuado de los productos al llegar al final de su vida útil. La comunicación de estos pasos puede incluir información sobre el reciclaje, la reutilización, el reacondicionamiento, el retorno al fabricante para su reutilización o reciclado, o la correcta disposición en caso de que no sea posible ninguna de las opciones anteriores. Este tipo de comunicación puede proporcionar pautas claras para un manejo responsable de residuos o productos usados, promoviendo la circularidad y la reducción del impacto ambiental.

**6. Valorar incorporar la economía circular a la estrategia de la organización.**

Al incorporar la economía circular en la estrategia de la organización, se busca establecer un compromiso a largo plazo con prácticas comerciales más sostenibles y responsables. Esto puede abarcar desde la revisión y reestructuración de la cadena de suministro, el diseño de productos y procesos de fabricación, hasta la consideración de modelos de negocio que fomenten la reutilización, el reciclaje y la reducción de residuos. Esta consideración no solo puede tener un impacto positivo en la huella ambiental de la empresa, sino que también puede generar beneficios en términos de eficiencia operativa, reducción de costos, diferenciación de marca, cumplimiento normativo y satisfacción de los clientes que valoran cada vez más las prácticas sostenibles

### **7. Valorar ofrecer materiales reciclados.**

Ofrecer materiales reciclados puede involucrar la evaluación de proveedores que ofrezcan materias primas recicladas, así como la consideración en el diseño de productos para incorporar materiales con contenido reciclado. La disponibilidad de productos que utilizan materiales reciclados en la oferta de la empresa puede ser atractiva tanto para clientes conscientes del medio ambiente como para aquellos que buscan opciones sostenibles. Esta consideración no solo puede contribuir a la reducción del impacto ambiental de la empresa, sino que también puede mejorar la percepción de la marca, fortaleciendo su compromiso con la sostenibilidad. Además, el uso de materiales reciclados puede ayudar a reducir la dependencia de recursos naturales y la generación de residuos, fomentando así un enfoque más circular en las operaciones de la empresa. Ofrecer materiales reciclados también puede ser percibido como una expresión de responsabilidad social y ambiental, lo que puede generar una conexión más sólida con los consumidores y partes interesadas que valoran cada vez más las prácticas sostenibles y la reducción del impacto ambiental.

### **8. Valorar si ofrecer soluciones de economía circular a los productos en su fin de vida puede ser estratégico.**

Este enfoque no solo se alinea con las crecientes expectativas de sostenibilidad por parte de los consumidores y las regulaciones ambientales, sino que también puede brindar múltiples beneficios y oportunidades comerciales.

#### **Hoja de ruta para la implementación de la Economía Circular**

<b>Oportunidad</b>	<b>Estrategia</b>	<b>Período de maduración</b>
Valorar redirigir la organización hacia la innovación de modelos de negocio circulares.	Repensar	Corto
Valorar incorporar criterios en los lotes de compra que minimice el impacto ambiental.	Optimizar recursos	Corto

Valorar el empleo de materiales reciclados en lugar de material virgen.	Optimizar recursos	Corto
Valorar aumentar la inversión en iniciativas de economía circular.	-	Corto
Valorar cómo comunicar los pasos que debe seguir el cliente una vez el producto quede en desuso.	Repensar, Alargar la vida útil, Cierre de ciclo/fin de vida	Corto
Valorar incorporar la economía circular a la estrategia de la organización	Repensar	Medio
Valorar el empleo de materiales reciclados en lugar de material virgen.	Optimizar recursos	Corto
Valorar si ofrecer soluciones de economía circular a los productos en su fin de vida puede ser estratégico.	Cierre de ciclo/fin de vida	Corto

**Tabla 3.6** Hoja de ruta **Fuente.** Elaboración Propia

### 3.4 Plan de acción

Para lograr una correcta aplicación de las oportunidades explicadas anteriormente es necesario ejecutar un plan de acción. Este plan se confeccionó utilizando la Matriz 5W1H, integrado por varios administrativos del centro que se responsabilicen en cada una de las oportunidades para evaluar los cambios de una economía lineal a una circular en el plazo de un año.

Acciones Estratégicas Principales	Plazos
<p><b>1. Acción estratégica 1.</b> Establecer políticas y estrategias para la formación, desarrollo e incorporación del capital humano asociado a las actividades de ciencia, tecnología e innovación, en correspondencia con modelos de negocio circulares, de desarrollo económico, tecnológico y social de la empresa.</p> <p><i>Acción específica 1.</i> Incentivar la superación de profesionales en categorías científicas desde la perspectiva de Economía Circular.</p> <p><i>Acción específica 2.</i> Incrementar la cantidad de publicaciones científico - técnicas empresariales acorde con las investigaciones realizadas</p> <p><i>Acción específica 3.</i> Redirigir la organización hacia la innovación de modelos de negocio circulares.</p> <p><b>2. Acción estratégica 2.</b> Impulsar la competitividad de la empresa para protegerla contra la escasez</p>	

<p>de recursos y la volatilidad de los precios, y contribuir a crear nuevas oportunidades, así como maneras innovadoras y más eficientes de producir y consumir.</p> <p><i>Acción específica 4.</i> Incorporar criterios en los lotes de compra que minimice el impacto ambiental.</p> <p><i>Acción específica 5.</i> Valorar el empleo de materiales reciclados en lugar de material virgen.</p> <p><i>Acción específica 6.</i> Crear puestos de trabajo a escala local adecuados a todos los niveles de capacidades, así como oportunidades para la integración y la cohesión social.</p> <p><i>Acción específica 7.</i> Garantizar que se disponga del marco normativo adecuado para el desarrollo de la EC en el mercado.</p> <p><b>3. Acción estratégica 3.</b> Impulsar las inversiones en modelos de negocio circulares.</p> <p><i>Acción específica 8.</i> Realizar estudios Técnico-Económico que garanticen la perspectiva de aplicación de la Economía Circular.</p> <p><i>Acción específica 9.</i> Estimular la actividad sostenible para destacar el potencial de crecimiento y aplicación de la Economía Circular.</p>	2024-2027
--	-----------

**Tabla 3.7.** Acciones Estratégicas Principales **Fuente.** Elaboración Propia

<b>Oportunidades de mejoras</b>	
Establecer políticas y estrategias para la formación, desarrollo e incorporación del capital humano asociado a las actividades de ciencia, tecnología e innovación, en correspondencia con modelos de negocio circulares, de desarrollo económico, tecnológico y social de la empresa.	
<b>¿Qué?</b>	Incentivar y reconocer la capacidad individual.
<b>¿Por qué?</b>	Para la empresa es imprescindible concebir un proceso de ciencia e innovación tecnológica con una adecuada articulación entre los actores que intervienen., la interacción entre profesionales, técnicos y operarios es de vital importancia.
<b>¿Quién?</b>	Departamento de Capital Humano en coordinación con otras entidades prestadoras de servicio de capacitación (según las necesidades de la empresa)
<b>¿Cuándo?</b>	El proceso comenzará en enero de 2024 y se certificará por el Comité Organizativo en enero de cada año.
<b>¿Cómo?</b>	Estimulando al personal para su superación y crecimiento profesionales.
<b>¿Dónde?</b>	Las acciones de capacitación se realizarán en las aulas especializadas propuestas por el personal contratado y en el área de la empresa designada para estas actividades.

**Tabla 3.8.** Oportunidades de mejoras. **Fuente.** Elaboración Propia

<b>Oportunidades de mejoras</b>	
Impulsar la competitividad de la empresa para protegerla contra la escasez de recursos y la volatilidad de los precios, y contribuir a crear nuevas oportunidades, así como maneras innovadoras y más eficientes de producir y consumir.	
<b>¿Qué?</b>	Incorporar criterios que minimice el impacto ambiental.
<b>¿Por qué?</b>	Es importante para la empresa garantizar que se disponga del marco normativo adecuado para el desarrollo de la Economía Circular en el mercado.
<b>¿Quién?</b>	Director General en coordinación conjunta con los directores de área de Capital Humano, Economía y Calidad.
<b>¿Cuándo?</b>	El proceso comenzará en enero de 2024 y se certificará por el Comité Organizativo en enero de cada año.
<b>¿Cómo?</b>	Crear puestos de trabajo a escala local adecuados a todos los niveles de capacidades, así como oportunidades para la integración y la cohesión social.
<b>¿Dónde?</b>	Las acciones se realizarán en las áreas administrativas de la empresa

**Tabla 3.9.** Oportunidades de mejoras. **Fuente.** Elaboración Propia

<b>Oportunidades de mejoras</b>	
Impulsar las inversiones en modelos de negocio circulares.	
<b>¿Qué?</b>	Realizar estudios Técnico-Económico para una visión de la perspectiva de aplicación de la Economía Circular.
<b>¿Por qué?</b>	Estimular en la empresa el desarrollo de la actividad sostenible y destacar así el potencial de crecimiento y aplicación de la Economía Circular.
<b>¿Quién?</b>	Director General en coordinación conjunta con los directores de área de Economía y Calidad.
<b>¿Cuándo?</b>	El proceso se desarrollará en función de los resultados de los estudios de inversiones.
<b>¿Cómo?</b>	Mostar las potencialidades y competitividad de la empresa.
<b>¿Dónde?</b>	Las acciones se realizarán en coordinación con inversionistas.

**Tabla 3.10.** Oportunidades de mejoras. **Fuente.** Elaboración Propia

## **CONCLUSIONES**

1. El estudio documental permitió establecer que la Economía Circular nace de la necesidad real actual de abandonar un modelo económico lineal que ha seguido una sociedad que ha agotado los recursos necesarios para satisfacer las necesidades futuras de un planeta cada vez más débil: la tierra.
2. La aplicación de un diagnóstico en la Empresa GydeMa dejó ver que la organización se encuentra en un nivel 2, nivel básico; la organización muestra indicios de que existe un interés para basar su modelo de negocio en la Economía Circular.
3. La metodología propuesta en la fábrica permitió un nivel de transición hacia modelos más circulares.
4. Se identificaron varias oportunidades en la Empresa GydeMa siendo la primordial, Valorar redirigir la organización hacia la innovación de modelos de negocio circulares.
5. Se elaboró un plan de acción con el objetivo de impulsar al desarrollo empresarial de la fábrica de acuerdo con los lineamientos estratégicos de la empresa en la cual tecnólogos, operarios y directivos de la misma se harán responsables de que se cumplan cada una de las oportunidades en un tiempo determinado, teniendo esclarecido las estrategias de Economía Circular.

### ***RECOMENDACIONES***

1. Socializar los resultados aquí obtenidos, para facilitar posteriores investigaciones en la industria; así como, favorecer la difusión de la metodología, dado los pocos estudios de Economía Circular existentes en Cuba.
2. Realizar la aplicación de este nuevo modelo económico (Economía Circular) a las demás empresas existentes en el municipio de Cienfuegos, para así minimizar al máximo los efectos que estas pudieran tener al medio ambiente.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Acodea. (2019). *Calculadora de circularidad para organizaciones de Acodea*.  
<http://acodea.solidforest.com>
- Agama Acevedo, E., Juárez García, E., Evangelista Lozano, S., Rosales Reynoso, O. L., & Bello Pérez, L. A. (2012). *Características del almidón de maíz y relación con las enzimas de su biosíntesis* (Vol. 47).
- Aguilar, G. C. A. (2019). *Economía circular como alternativa sostenible para el desarrollo productivo de las industrias*. (Tesis de Grado). Universidad del Rosario.
- Alvarez Zapata, H. D. (2013). *Balances de materia y energía: Formulación, solución y usos en procesos industriales*.
- Cangrejo Castro, N. (2020). *Integración de Economía Circular en la industria química colombiana: Propuesta de un sistema de indicadores de desempeño ambiental para medir la circularidad en empresas del sector* Universidad Nacional de Colombia.
- Carrera Villacís, A. N. (2021). *Aplicación de las estrategias de producción más limpia y Economía Circular en los procesos de la Distribuidora Farmacéutica Farmaenlace* [Tesis de Grado]. Universidad Internacional SEK.
- Cascón Izquierdo, A. (2020). *Economía Circular ¿Es Posible Un Crecimiento Sostenible?* (Tesis de Grado). Universidad de Barcelona.
- CEEI. (2021). *Autodiagnóstico Medición Sostenibilidad en las Organizaciones*.  
<https://ceeivalencia.emprenemjunts.es/?op=65&n=883>
- Cerdá, E., & Khalilova, A. (2016). *Economía Circular*.
- Chou Rodríguez, E. (2012). *Evaluación y aplicación de estrategias de Producción más Limpia en la Sección Recepción, Limpieza y Maceración del Maíz, de La Empresa de Glucosa Cienfuegos*. (Tesis de Maestría). Universidad de Cienfuegos.
- CircularTRANS. (2021). *Herramienta de diagnóstico de Economía Circular de la Universidad de Mondragón*. <https://www.mondragon.edu/circulartrans/es>
- Cordero Jerves, D. (2018). *Modelo para la implementación de Economía Circular, en base a los principios básicos de ciclos inversos y ciclos en cascada* [Tesis de Grado]. Universidad del Azuay.
- Díaz García, D. (2022). *Aplicación de la Economía Circular en el Consejo Popular de San Lázaro de la provincia de Cienfuegos* (Tesis de Grado). Universidad de Cienfuegos.

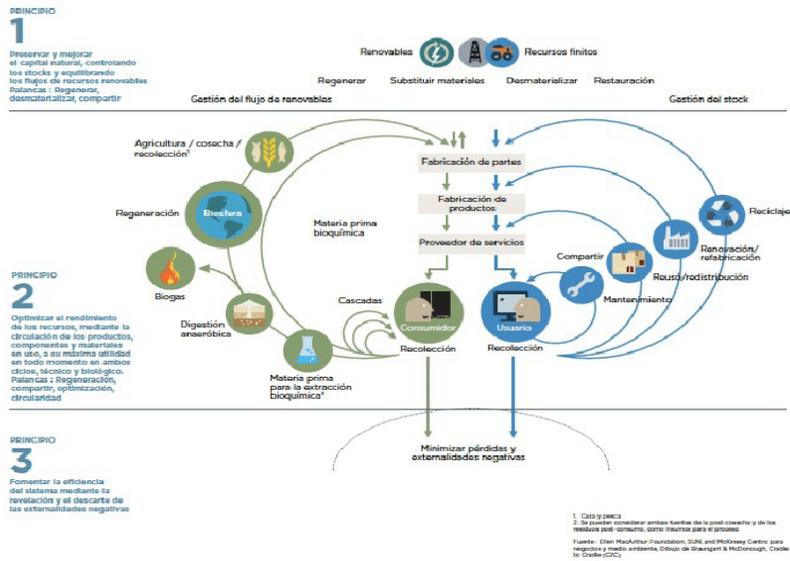
- Domínguez Valdevieso, J. P. (2021). *Antecedentes Economía Circular*. (Tesis de Grado). Universidad Corporativa de Colombia.
- Espaliat Canu, M. (2017). *Economía Circular y Sostenibilidad Nuevos Enfoques Para La Creación De Valor*.
- Foundation, E. M. (2014). *Towards the circular economy. Economic and business rationale for an accelerate transition*.
- Foundation, E. M. (2015). *Growth within: a circular economy vision for a competitive europe*.
- García, F. J. (2020). *La economía circular. Ideas claves para la comprensión de un nuevo modelo de gestión de los recursos económicos*.
- García Zamora, J. (2012). *Evaluación de Producción más limpia en la obtención del almidón de maíz en la Empresa Glucosa Cienfuegos*. (Tesis de Maestría). Universidad de Cienfuegos.
- García-Ovies, C. B. (2021). *La Economía Circular y su aplicación al sector eléctrico*.
- Hoof, B. V., Núñez, G., & Miguel, C. D. (2022). *Metodología para la evaluación de avances en la economía circular en los sectores productivos de América Latina y el Caribe*. CEPAL-Serie Desarrollo Productivo.
- Inedit. (2020). *Herramienta de circularidad de Inedit*.  
<https://circular.ineditinnova.com/index/es>
- Jiménez Herrero, L. M. (2020). *Economía circular-espiral. opciones estratégicas desde el reciclaje al cambio sistémico*. <http://www.ecosfron.org/>
- López Castellanos, F., & Gil, S. (2006). *Metodología de la Investigación Científica*.
- Mallón, K. A. (2019). *Economía Circular, ¿un paradigma emergente para el sector jujeño de la construcción?* [Tesis de Grado]. Universidad de San Andrés.
- Martínez Cerna, L. H. (2019). *Economía circular y políticas públicas: Estado del arte y desafíos para la construcción de un marco político de promoción de economía circular en América Latina*.
- Martínez Valencia, A. F., Bueno Arias, L. C., Cabezas Porras, C. C., & Ospina Alba, D. E. (2021). *Análisis del desarrollo de la economía circular aplicada al uso de envases para alimentos y bebidas en Colombia*. Universidad del Bosque.

- Miguel, C., Martínez, K., Pereira, M., & Kohout, M. (2021). *Economía circular en América Latina y el Caribe, oportunidad para una recuperación transformadora*.
- Molina Urdanivia, A. (2022). *Aplicación de la Economía Circular en la elaboración del Queso Cumanayagua, en la Empresa de Productos Lácteos Escambray*. [Tesis de Grado]. Universidad de Cienfuegos.
- Núñez Pérez, G., & de Miguel, C. (2022). *Metodología para la evaluación de avances en la economía circular en los sectores productivos de América Latina y el Caribe*.
- ONUDI, C. H. (2022). *LA ECONOMÍA Circular en américa latina y el caribe - oportunidades para construir resiliencia*. <https://ods9.org/resource/638/la-economia-circular-en-america-latina-y-el-caribe-oportunidades-para-construir-resiliencia>
- Pérez, A. (2019). *Economía Circular y sus modelos de negocio*.
- Piloto Chávez, R. O., & Ruíz Acosta, V. (2022). *Análisis de los desafíos para la implementación de un modelo de Economía Circular en Cuba Observatorio de las Ciencias Sociales en Iberoamérica*.
- Priede Bergamini, T. (2019). *Responsabilidad social corporativa en la industria alimentaria*.
- Prieto-Sandoval, V. (2017). *Economía circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación*. (Tesis de Grado). Universidad de Navarra.
- Rivero Zayas, A. (2015). *Estudio del proceso de maceración de cereales, con vistas a la utilización de óxido de azufre soluble en la UEB Glucosa Cienfuegos a escala de Planta Piloto*. (Tesis de Grado). Universidad de Cienfuegos.
- Saer, A. J., & González, L. E. (2019). *Estrategia nacional de Economía Circular. Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio*.
- Schröder, P., Albaladejo, M., Alonso Ribas, P., MacEwen, M., & Tilkanen, J. (2020). *La economía circular en América Latina y el Caribe .Oportunidades para fomentar la resiliencia*.
- Serón Galindo, D. (2020). *Economía circular: de alternativa a necesidad*. <http://www.ecosfron.org/>

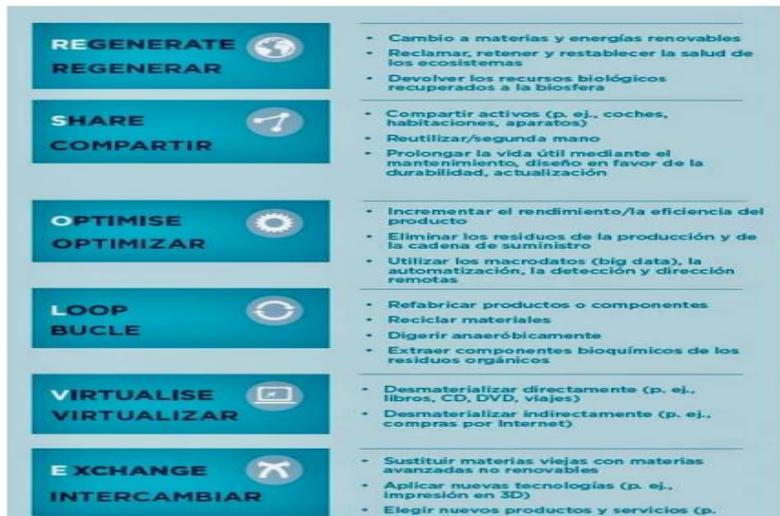
- Sur, O. C. (2022). *Economía circular en américa latina y el caribe: una visión compartida*.  
<https://ods9.org/news/955/economia-circular-en-america-latina-y-el-caribe-una-vision-compartida>
- TECNUN. (2021). *Cuestionario Diagnóstico Economía Circular*.  
<https://economiecircular.wixsite.com/economiecircular/cuestionario>
- Tollin, N., Jimenez, L. M., & Morató, J. (2017). *Situación y evolución de la Economía Circular en España*.
- TOVAR BENÍTEZ, T. (2008). *Caracterización morfológica y térmica del almidón de maíz (Zea mays L) obtenido por diferentes métodos de aislamiento*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Urrutia, R. R. (2019). *Economía circular y políticas públicas: Estado del arte y desafíos para la construcción de un marco político de promoción de economía circular en América Latina*.
- Valero, A. (2017). *La Industria Química: Una clara apuesta por la Economía Circular*. FEIQUE: Federación Empresarial de la Industria Química Española. .
- Valor Martínez, C. (2020). *El consumidor en la economía circular: cerrando (y ralentizando) el círculo*. Universidad Pontificia Comillas
- Varela Menéndez, J. (2018). *La economía circular. Una propuesta de futuro para España y Europa*. [Tesis de Grado]. Universidad de Coruña.
- Vayona, A., & Demetriou, G. (2020). *Towards an operating model for attribution in Circular Economy*. 16 th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems.

# ANEXOS

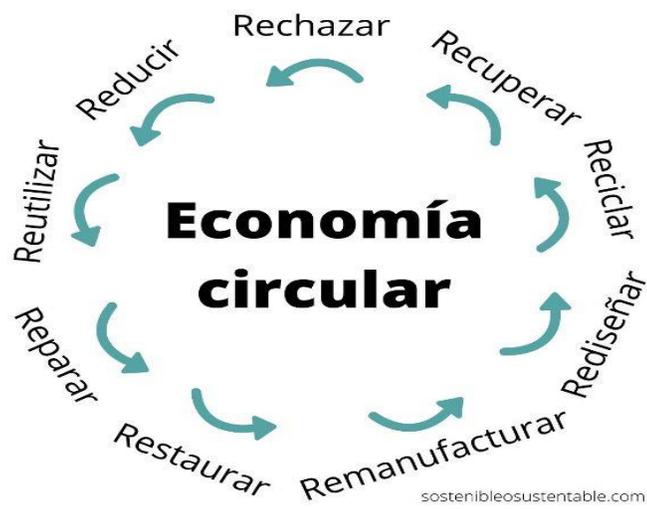
**Anexo 1.** Diagrama de la mariposa visualizando los tres principios fundamentales de la Economía Circular. **Fuente.** (Foundation, 2015)



**Anexo 2.** Estructura RESOLVE. **Fuente.** (Foundation, 2015)

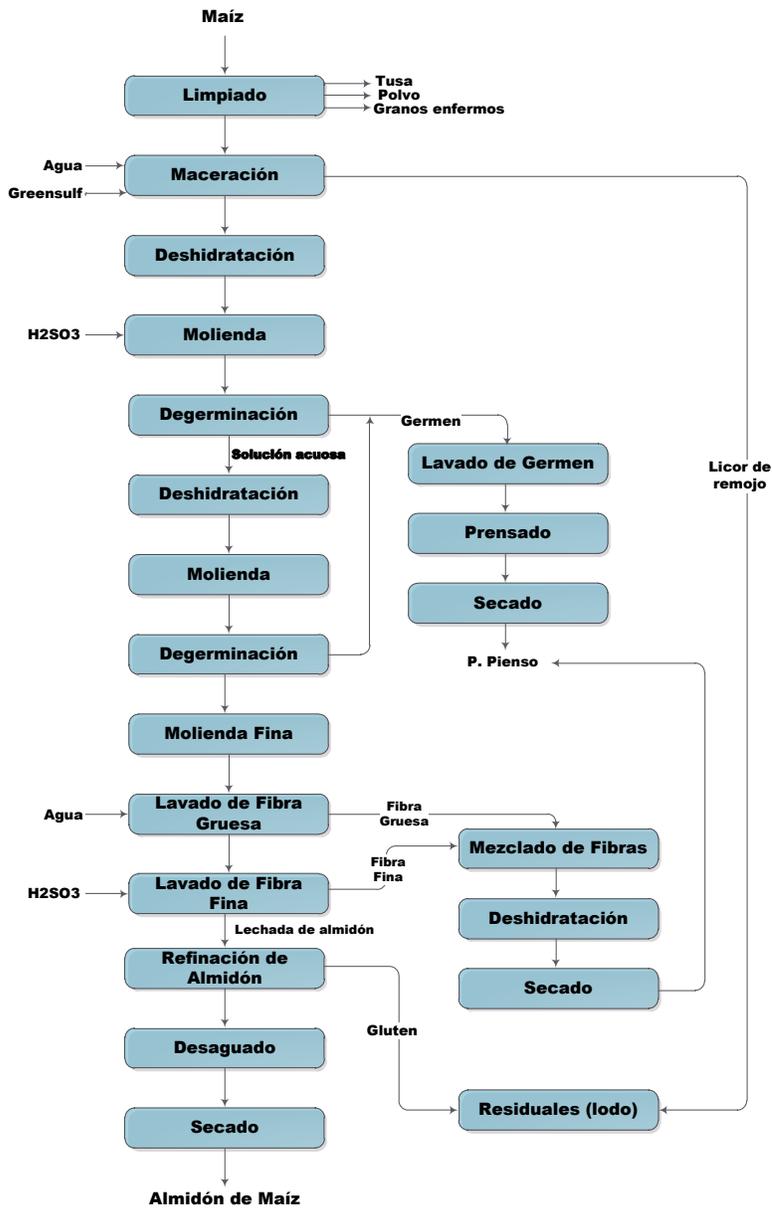


Anexo 3. Estrategia de las 9 R de Economía Circular. Fuente. Elaboración propia

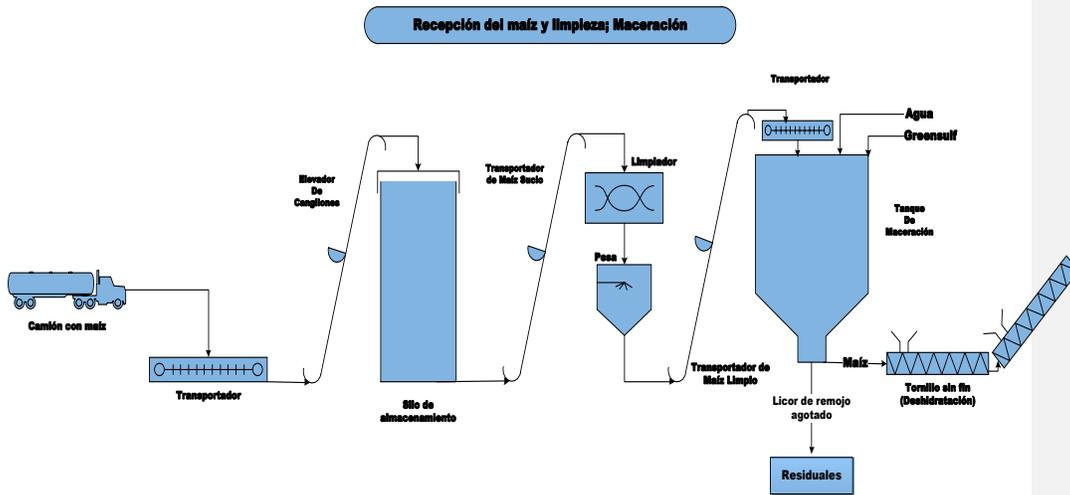


Anexo 4. Diagrama de bloque general del Proceso de obtención de almidón de Maíz.

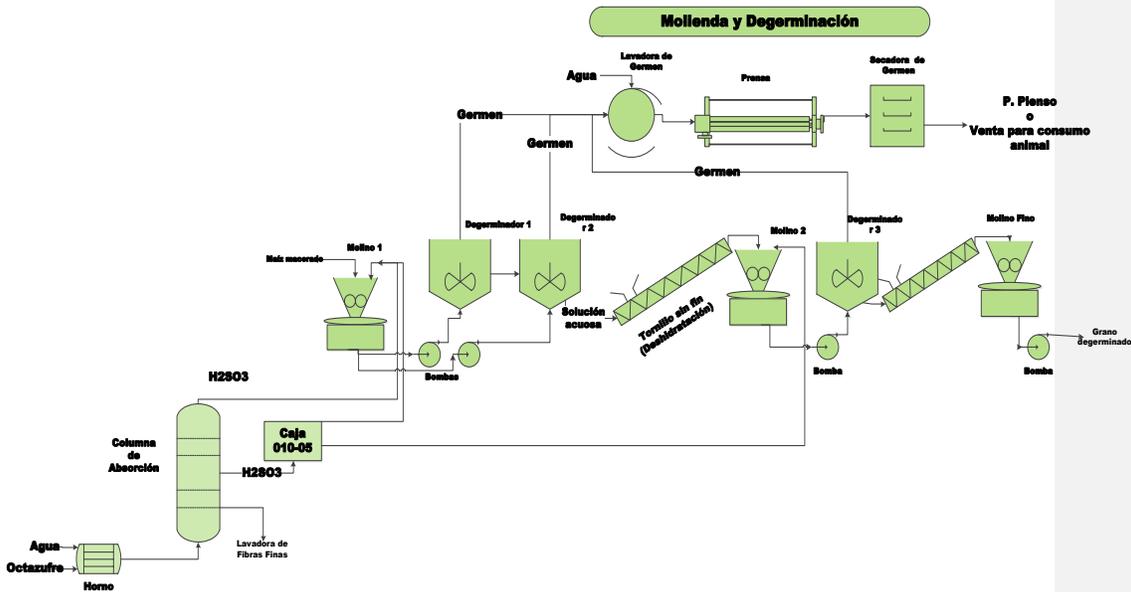
Fuente. Elaboración propia



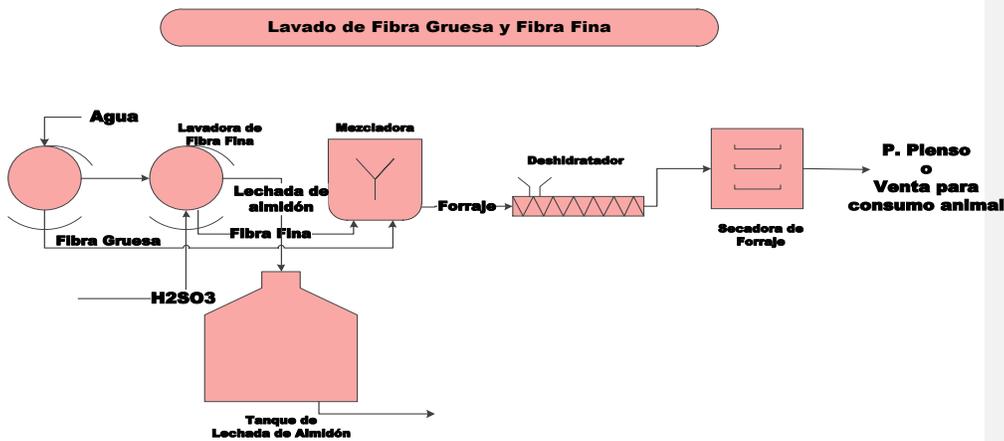
**Anexo 5.** Diagrama de Flujo de la etapa de Recepción, Limpieza y Maceración en la obtención de almidón de maíz en la empresa GydeMa. **Fuente.** Elaboración propia



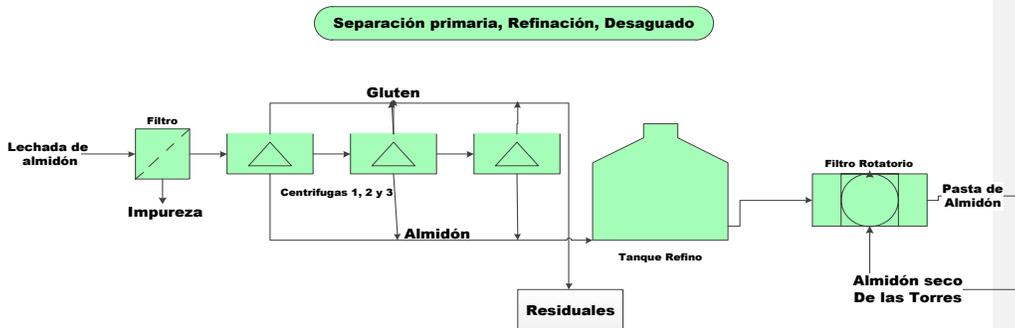
**Anexo 6.** Diagrama de Flujo de la etapa Molienda y Degerminación en la obtención de almidón de maíz en la empresa GydeMa. **Fuente.** Elaboración propia



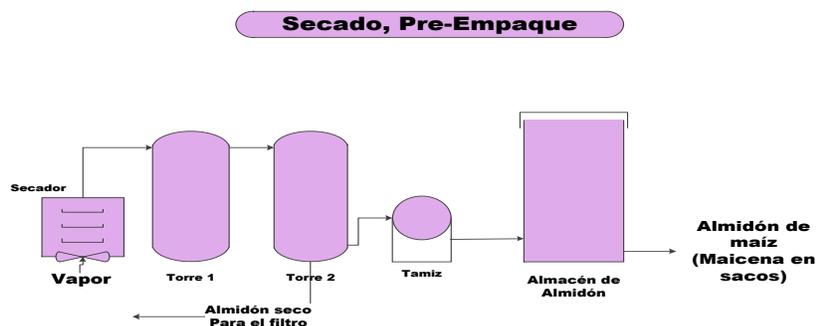
Anexo 7. Diagrama de Flujo de la etapa de Lavado de Fibra en la obtención de almidón de maíz en la empresa GydeMa. Fuente. Elaboración propia



Anexo 8. Diagrama de Flujo de la etapa de Separación primaria, Refinación y Desaguado en la obtención de almidón de maíz en la empresa GydeMa. Fuente. Elaboración propia



**Anexo 9.** Diagrama de Flujo de la etapa de Secado y Pre-Empaque en la obtención de almidón de maíz en la empresa GydeMa. **Fuente.** Elaboración propia



**Anexo 10.** Encuesta para la selección de los expertos que contribuirán al desarrollo del estudio. **Fuente.** Elaboración propia.

### Empresa GydeMa de Cienfuegos

Usted forma parte de los candidatos propuestos a expertos a seleccionar en el tema de “Análisis de la Empresa GydeMa desde la perspectiva de la economía circular”. Es por ello que se requiere de su propia autoevaluación para de esta forma determinar su posibilidad de ser elegido. Para ello se le pide que por favor tenga en cuenta la importancia que se le confiere al tema.

Nombre y Apellidos: \_\_\_\_\_

Categoría Científica: \_\_\_\_\_

Centro de trabajo \_\_\_\_\_

Profesión \_\_\_\_\_

Años de experiencia: \_\_\_\_\_

Marque con una cruz (X), en la tabla que se muestra a continuación el nivel de conocimiento que presenta sobre las temáticas citadas. Considere que la escala se presenta de forma ascendente, es decir, el conocimiento sobre el tema referido va creciendo desde el 0 hasta el 9.

Nivel de conocimiento que posee	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Procesos productivos										
Aspectos relacionados con la Economía Circular										
Normas de emisiones										
Variables que intervienen en el proceso										
Actores que intervienen en el proceso										
Posibles hipótesis a presentar										

**Anexo 11.** Nivel de conocimiento de acuerdo a fuentes de argumentación. **Fuente.** Elaboración propia.

Empresa GydeMa de Cienfuegos			
Fuentes de Argumentación	Grado de influencia de cada una de las fuentes en su conocimiento y criterio		
	Alto	Medio	Bajo
Análisis realizados por usted	0,3	0,2	0,1
Experiencia adquirida	0,5	0,4	0,2
Trabajos de autores nacionales que conoce	0,05	0,05	0,05
Trabajos de autores internacionales que conoce	0,05	0,05	0,05
Conocimiento propio sobre el estado del tema	0,05	0,05	0,05

Anexo 12. Coeficientes de competencia de los candidatos. Fuente. Elaboración propia.

Empresa GydeMa de Cienfuegos

Candidatos	$Kc$	$Ka$	$K_{competencia}$
1	8,53	0,90	9,43
2	6,80	0,90	7,70
3	7,03	1,00	8,03
4	8,75	0,11	8,86
5	7,58	0,64	8,22
6	7,40	0,97	8,37
7	8,89	0,80	9,69
8	8,28	0,85	9,13
9	6,41	1,00	7,41
10	7,93	0,21	8,14
11	8,44	1,00	9,44
12	6,30	0,54	6,84
13	6,75	0,90	7,65
14	6,67	1,00	7,67
15	8,84	0,80	9,64
16	7,44	0,57	8,01
17	8,57	0,15	8,72
18	8,20	0,90	9,10
19	7,48	0,62	8,10
20	7,19	0,86	8,05
21	6,40	1,00	7,40
22	8,78	1,00	9,78
23	7,23	0,50	7,73
24	9,00	0,35	9,35
25	7,12	0,75	7,87
26	6,80	0,67	7,47
27	8,54	0,70	9,24
28	6,60	0,64	7,24

**Anexo 13.** Cálculos del balance de masa en el tamiz. **Fuente.** Elaboración propia.

$$\frac{2192.83 \text{ t}}{7 \text{ meses}} * \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} = 0.43 \text{ t/h}$$

$$0.43 \text{ t/h} * 0.0702 = \text{cantidad de impurezas}$$

$$0.0301 \text{ t/h} = 30.1 \text{ kg/h} = \text{cantidad de impurezas}$$

Utilizando la ecuación 2.1

*Balance total: Maíz Entrada (ME) = Maíz Salida(MS) + Impurezas(IM)*

$$ME - IM = MS$$

$$0.43 \text{ t/h} - 0.0301 \text{ t/h} = MS$$

$$0.3999 \text{ t/h} = 399 \text{ kg/h} = MS$$

**Anexo 14.** Cálculos del balance de masa en el tanque de maceración. **Fuente.** Elaboración propia.

Utilizando la ecuación 2.2 y teniendo de datos:

$$\rho_{As} = 995.7 \text{ kg/m}^3 \text{ y volumen} = 25 \text{ m}^3$$

$$\rho_{As} = \frac{m_{As}}{\text{volumen}}$$

$$m_{As} = \rho_{As} * V = 995.7 \text{ kg/m}^3 * 25 \text{ m}^3 = 24892.5 \text{ kg} * \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} = 24.89 \text{ t}$$

Utilizando la ecuación 2.3

$$Ms + As = MM$$

$$399 \text{ kg/h} + 24892.5 \text{ kg} = 25291.5 \text{ kg/h}$$

$$MM = 25291.5 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} = 25.29 \text{ t/h}$$

**Anexo 15.** Cálculos del balance de masa para la separación en el tanque de maceración.

**Fuente.** Elaboración propia.

Teniendo como datos las dimensiones de la cuba procedemos a calcular su área (A).

$$\text{altura } (h) = 40\text{ cm} = 0.40\text{ m}$$

$$\text{largo } (l) = 2.48\text{ m}$$

$$\text{ancho } (a) = 96\text{ cm} = 0.96\text{ m}$$

$$A = l * a = 2.48\text{ m} * 0.96\text{ m} = 2.38\text{ m}^2$$

$$h = \frac{V}{A}$$

$$V = h * A = 0.40\text{ m} * 2.38\text{ m}^2 = 0.952\text{ m}^3 \approx 1\text{ m}^3$$

$$m_{ASA'} = \rho * V = 995.7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1\text{ m}^3 = 995.7\text{ kg}$$

Para saber la cantidad de agua sulfurosa que se vota de la cuba y va a parar a residuales se realizó el siguiente cálculo:

Utilizando la ecuación 2.4 y teniendo como dato el flujo que se vota a residuales calculamos.

$$\text{Flujo que vota a residuales : } 1.8\text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{ASA} * \rho = m_{ASA}$$

$$1.8\text{ m}^3/\text{h} * 995.7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = m_{ASA}$$

$$m_{ASA} = 1792.26 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{1\text{ t}}{1000\text{ kg}} = 1.79\text{ t/h}$$

Utilizando la ecuación 2.5 procedemos a calcular la cantidad de agua sulfurosa que se separó (ASA1).

$$m_{ASA1} = m_{ASA'} + m_{ASA}$$

$$m_{ASA1} = 995.7 \text{ kg} + 1792.26 \text{ kg/h} = 2787.96 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} = 2.78 \text{ t/h}$$

Utilizando la ecuación 2.6 podemos saber la cantidad de maíz macerado que quedó en el tanque y que luego se transportó a la siguiente etapa.

$$MM2 = MMA + m_{ASA1}$$

$$MMA = MM2 - m_{ASA1}$$

$$MMA = 25386.49 \text{ kg/h} - 2787.96 \text{ kg/h} = 22598.53 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} = 22.59 \text{ t/h}$$

**Anexo 16.** Cálculos del balance de energía 1 en el tanque de maceración. **Fuente.** Elaboración propia.

Teniendo como dato:

$$Cp_{As} = 4.18 \text{ kj/kg}^\circ\text{C} \text{ y } Cp_{maíz} = 2.09 \text{ kj/kg}^\circ\text{C}$$

$$\eta = 0,95 \text{ y } \lambda_v = -2108.5 \text{ kj/kg}$$

Utilizando las ecuaciones de la 2.7 a la 2.10 se tiene que:

$$Cp_{MM} = Cp_{As} + Cp_{maíz}$$

$$Cp_{MM} = 4.18 \text{ kj/kg}^\circ\text{C} + 2.09 \text{ kj/kg}^\circ\text{C} = 6.27 \text{ kj/kg}^\circ\text{C}$$

$$Qg = \int_{T1}^{T2} m_{MM} * Cp_{mm} dT = 25291.5 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 6.27 \frac{\text{kj}}{\text{kg}^\circ\text{C}} = 158577.705 \text{ kj/h}$$

$$Qg = -\eta * Qc$$

$$Qc11 = \frac{Qg}{-\eta} = \frac{158577.705 \text{ kj/h}}{-0.95} = -166923.9 \text{ kj/h}$$

$$Qc11 = m_{v11} * \lambda_v$$

$$m_{v11} = \frac{Qc11}{\lambda_v} = \frac{-166923.9 \text{ kj/h}}{-2108.5 \text{ kj/kg}} = 79.16 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} = 0.079 \text{ t/h}$$

Análisis dimensional

$$\frac{kJ/h}{kJ/kg} = \frac{kJ}{h} * \frac{kg}{kJ} = kg/h$$

$$MM + m_{v11} = MM_1$$

$$25291.5 \frac{kg}{h} + 79.16 \frac{kg}{h} = 25370.66 \frac{kg}{h} * \frac{1 t}{1000 kg} = 25.37 t/h$$

**Anexo 17.** Cálculos del balance de energía 2 en el tanque de maceración. **Fuente.** Elaboración propia.

Como se conoce el por ciento de calor que se pierde por disipación entonces.

$$Qc12 = 0.2 * Qc11$$

$$Qc12 = 0.2 * (-166923.9 \frac{kJ}{h}) = -33384.78 \frac{kJ}{h}$$

Utilizando las ecuaciones 2.7 y 2.10.

$$Qg = -\eta * Qc12$$

$$Qg = -0.95 * (-33384.78 \frac{kJ}{h}) = 31715.541 \frac{kJ}{h}$$

$$Qc12 = m_{v12} * \lambda_v$$

$$m_{v12} = \frac{Qc12}{\lambda_v} = \frac{-33384.78 \frac{kJ}{h}}{-2108.5 \frac{kJ}{kg}} = 15.83 \frac{kg}{h} * \frac{1 t}{1000 kg} = 0.015 t/h$$

Análisis dimensional

$$\frac{kJ/h}{kJ/kg} = \frac{kJ}{h} * \frac{kg}{kJ} = kg/h$$

$$MM1 + m_{v12} = MM_2$$

$$25370.66 \frac{kg}{h} + 15.83 \frac{kg}{h} = 25386.49 \frac{kg}{h} * \frac{1 t}{1000 kg} = 25.38 t/h$$

**Anexo 18.** Cálculo del balance de masa en el molino previo 1. **Fuente.** Elaboración propia.

Datos para el balance.

$$Q_{MMA} = 22.59 t/h$$

$$\text{SolAGeFG: } 6 \text{ t/h}$$

$$RS = 0.8 * Q_{MMA} = 0.8 * 22.59 \text{ t/h} = 18.072 \text{ t/h}$$

$$X_{A_{MMA}} = 0.2$$

$$X_{A_{H_2O S 010-05}} = 0.2$$

$$X_{A_{\text{SolAGeFG}}} = 0.8$$

Utilizando las ecuaciones 2.11 y 2.12 se tiene que:

$$\text{Balance Total: } Q_{MMA} + H_2O S + H_2O S 010 - 05 = \text{SolAGeFG} + RS$$

*Balance Parcial de Almidón:*

$$X_{A_{MMA}} * Q_{MMA} + X_{A_{H_2O S 010-05}} * H_2O S 010 - 05 = X_{A_{\text{SolAGeFG}}} * \text{SolAGeFG}$$

$$0.2 * 22.59 \text{ t/h} + 0.2 * H_2O S 010 - 05 = 0.8 * 6 \text{ t/h}$$

$$4.518 \text{ t/h} + 0.2 * H_2O S 010 - 05 = 4.8 \text{ t/h}$$

$$H_2O S 010 - 05 = \frac{4.8 \text{ t/h} - 4.518 \text{ t/h}}{0.2} = 1.41 \text{ t/h}$$

*Sustituyendo en el Balance Total*

$$22.59 \text{ t/h} + H_2O S + 1.41 \text{ t/h} = 6 \text{ t/h} + 18.072 \text{ t/h}$$

$$24 \text{ t/h} + H_2O S = 24.072 \text{ t/h}$$

$$H_2O S = 24.072 \text{ t/h} - 24 \text{ t/h} = 0.072 \text{ t/h}$$

**Anexo 19.** Cálculos del balance de masa en la degerminadora 3. **Fuente.** Elaboración propia.

Datos para el balance

$$H_{\text{SolGe}} = 87\%$$

$$H_{\text{Ge(H)}} = 58\%$$

$$H_2O = 17 \text{ t/h}$$

Utilizando la ecuación 2.14 y 2.15

$$\text{Balance Total: } \text{SolGe} + H_2O = \text{Ge (H)} + H_2O S 010 - 05$$

*Balance Parcial de Germen:*

$$X_{Ge(SGe)} * SolGe = X_{Ge(Ge(H))} * Ge(H)$$

Cálculo de las composiciones

$$X_{Ge(SolGe)} = \frac{Ge}{SolGe} = 0.53$$

$$H_{SolGe} = \left( \frac{SolGe}{Ge} \right) - 1$$

$$0.87 + 1 = \left( \frac{SolGe}{Ge} \right)$$

$$1.87 = \left( \frac{SolGe}{Ge} \right)$$

$$\frac{1}{1.87} = \left( \frac{Ge}{SolGe} \right)$$

$$\left( \frac{Ge}{SolGe} \right) = 0.53$$

$$X_{Ge(Ge(H))} = \frac{Ge}{Ge(H)} = 0.63$$

$$H_{Ge(H)} = \left( \frac{Ge(H)}{Ge} \right) - 1$$

$$0.58 + 1 = \left( \frac{Ge(H)}{Ge} \right)$$

$$\frac{1}{1.58} = \left( \frac{Ge(H)}{Ge} \right)$$

$$\left( \frac{Ge(H)}{Ge} \right) = 0.63$$

Sustituyendo las composiciones en la ecuación 2.15

$$X_{Ge(SGe)} * SolGe = X_{Ge(Ge(H))} * Ge(H)$$

$$0.53 * SolGe = 0.63 * 6$$

$$SolGe = \frac{3.78}{0.53} = 7.13 \text{ t/h}$$

Sustituyendo SolGe en la ecuación 2.13

$$Q_{MMA} + H_2O S + H_2O S 010 - 05 = SolAFG + SolGe + H_2O S 010 - 05$$

$$22.59 \text{ t/h} + 0.072 \text{ t/h} + 1.41 \text{ t/h} = \text{SolAFG} + 7.13 \text{ t/h} + 1.41 \text{ t/h}$$

$$24.072 \text{ t/h} = \text{SolAFG} + 8.54 \text{ t/h}$$

$$24.072 \text{ t/h} - 8.54 \text{ t/h} = \text{SolAFG}$$

$$\text{SolAFG} = 15.53 \text{ t/h}$$

**Anexo 20.** Cálculo de balance de masa en el molino fino. **Fuente.** Elaboración propia.

Utilizando las ecuaciones de la 2.17 a la 2.19 y teniendo como dato que

$$X_{F(\text{SolAFG})} = 0.37$$

$$X_{F(\text{SolAFG1})} = 0.31$$

$$X_{A(\text{SolAFG})} = 0.54$$

$$X_{A(\text{SolAFG1})} = 0.46$$

$$X_{A_{H_2O \text{ S } 010-05}} = 0.2$$

$$\text{Balance Total: SolAFG} + H_2O + H_2O \text{ S } 010 - 05 = \text{SolAFG1}$$

$$\text{Balance Parcial de Fibra: } X_{F(\text{SolAFG})} * \text{SolAFG} = X_{F(\text{SolAFG1})} * \text{SolAFG1}$$

$$0.37 * 15.53 \text{ t/h} = 0.31 * \text{SolAFG1}$$

$$\frac{5.746 \text{ t/h}}{0.31} = \text{SolAFG1}$$

$$\text{SolAFG1} = 18.53 \text{ t/h}$$

*BP de Almidón:*

$$X_{A(\text{SolAFG})} * \text{SolAFG} + X_{A(H_2O \text{ S } 010-05)} * H_2O \text{ S } 010 - 05 = X_{A(\text{SolAFG1})} * \text{SolAFG1}$$

$$0.54 * 15.53 \text{ t/h} + 0.2 * H_2O \text{ S } 010 - 05 = 0.46 * 18.53 \text{ t/h}$$

$$8.386 \text{ t/h} + 0.2 * H_2O \text{ S } 010 - 05 = 8.52 \text{ t/h}$$

$$H_2O \text{ S } 010 - 05 = \frac{8.52 \text{ t/h} - 8.386 \text{ t/h}}{0.2} = 0.67 \text{ t/h}$$

Sustituyendo SolAFG1 y H<sub>2</sub>O S 010-05 en el balance total (ecuación 2.17)

$$\text{SolAFG} + H_2O + H_2O \text{ S } 010 - 05 = \text{SolAFG1}$$

$$15.53 \text{ t/h} + H_2O + 0.67 \text{ t/h} = 18.53 \text{ t/h}$$

$$H_2O = 18.53 \text{ t/h} - 16.2 \text{ t/h} = 2.33 \text{ t/h}$$

**Anexo 21.** Cálculo del balance de energía en el molino previo 1. **Fuente.** Elaboración propia.

Teniendo como dato

$$\rho_{H_2O \text{ S } 010-05} = 1480 \text{ kg/m}^3$$

$$Qm_{H_2O \text{ S } 010-05} = 1.41 \text{ t/h} * \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ t}} = 1410 \text{ kg/h}$$

$$D = 0.05 \text{ m}$$

Utilizando las ecuaciones 2.20 y 2.21

$$Qv_{H_2O \text{ S } 010-05} = A * v$$

$$v = \frac{Qv_{H_2O \text{ S } 010-05}}{A} = \frac{0.95 \text{ m}^3/\text{h}}{0.00196 \text{ m}^2} = 484.69 \text{ m/h}$$

$$Qv_{H_2O \text{ S } 010-05} = \frac{Qm_{H_2O \text{ S } 010-05}}{\rho_{H_2O \text{ S } 010-05}} = \frac{1410 \text{ kg/h}}{1480 \text{ kg/m}^3} = 0.95 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{3.14 * (0.05 \text{ m})^2}{4} = 0.00196 \text{ m}^2$$

Análisis dimensional

$$\frac{\text{kg/h}}{\text{kg/m}^3} = \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = \text{m}^3/\text{h}$$

$$\frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{m}^2} = \text{m}^3/\text{h} * 1/\text{m}^2 = \text{m}/\text{h}$$

**Anexo 22.** Cálculo del balance de masa en el separador primario. **Fuente.** Elaboración propia.

Teniendo como datos

$$Qv_{SALG} = 45 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\rho_{SALG} = 1050 \text{ kg/m}^3$$

$$Qv_{ALP} = 15 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\rho_{ALP} = 997 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\%prot_{SAGL} = 70\% = 0.7$$

$$\%prot_{ALP} = 4\% = 0.04$$

$$\%prot_{SGLP} = 65\% = 0.65$$

Utilizando la ecuación 2.22

$$Qm = Qv * \rho$$

$$Qm_{SALG} = 45 \text{ m}^3/\text{h} * 1050 \text{ kg}/\text{m}^3 = 47250 \text{ kg}/\text{h} * \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} = 47.25 \text{ t}/\text{h}$$

$$Qm_{ALP} = 15 \text{ m}^3/\text{h} * 997 \text{ kg}/\text{m}^3 = 14955 \text{ kg}/\text{h} * \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} = 14.95 \text{ t}/\text{h}$$

Haciendo uso de la ecuación 2.23 y 2.24

$$\text{Balance total: } Q_{mSAGL} + Q_{mAPP} = Q_{mALP} + Q_{mSGLP}$$

Balance parcial de % de proteína.

$$\%prot_{SAGL} * Q_{mSAGL} = \%prot_{SGLP} * Q_{mSGLP} + \%prot_{ALP} * Q_{mALP}$$

$$\%prot_{SGLP} * Q_{mSGLP} = \%prot_{SAGL} * Q_{mSAGL} - \%prot_{ALP} * Q_{mALP}$$

$$Q_{mSGLP} = \frac{\%prot_{SAGL} * Q_{mSAGL} - \%prot_{ALP} * Q_{mALP}}{\%prot_{SGLP}}$$

$$Q_{mSGLP} = \frac{0.7 * 47.25 \text{ t}/\text{h} - 0.04 * 14.95 \text{ t}/\text{h}}{0.65} = \frac{32.47}{0.65} = 49.95 \text{ t}/\text{h}$$

Susituyendo  $Q_{mSALG}$ ,  $Q_{mALP}$  y  $Q_{mSGLP}$  en el balance total (ecuación 2.23)

$$Q_{mSAGL} + Q_{mAPP} = Q_{mALP} + Q_{mSGLP}$$

$$47.25 \text{ t}/\text{h} + Q_{mAPP} = 14.95 \text{ t}/\text{h} + 49.95 \text{ t}/\text{h}$$

$$Q_{mAPP} = 64.9 \text{ t}/\text{h} - 47.25 \text{ t}/\text{h}$$

$$Q_{mAPP} = 17.65 \text{ t}/\text{h}$$

**Anexo 23.** Cálculos de balance de masa en el refino 1. **Fuente.** Elaboración propia.

Teniendo como dato

$$Qv_{Al1} = 13 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\rho_{AL1} = 1050 \text{ kg/m}^3$$

$$\%prot_{ALP} = 4\% = 0.04$$

$$\%prot_{AL1} = 1\% = 0.01$$

$$\%prot_{SGL1} = 3\% = 0.03$$

Haciendo uso de la ecuación 2.22

$$Q_m = Q_V * \rho$$

$$Q_{mAL1} = 13 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 1050 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 13650 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} = 13.65 \text{ t/h}$$

Utilizando las ecuaciones 2.25 y 2.26

$$\text{Balance total: } Q_{mALP} + Q_{mAP1} = Q_{mAL1} + Q_{mSGL1}$$

Balance parcial de % de proteína.

$$\%prot_{ALP} * Q_{mALP} = \%prot_{SGL1} * Q_{mSGL1} + \%prot_{AL1} * Q_{mAL1}$$

$$\%prot_{SGL1} * Q_{mSGL1} = \%prot_{ALP} * Q_{mALP} - \%prot_{AL1} * Q_{mAL1}$$

$$Q_{mSGL1} = \frac{0.04 * Q_{mALP} - \%prot_{AL1} * Q_{mAL1}}{\%prot_{SGL1}}$$

$$Q_{mSGL1} = \frac{0.04 * 14.95 \text{ t/h} - 0.01 * 13.65 \text{ t/h}}{0.03} = \frac{0.46}{0.03} = 15.33 \text{ t/h}$$

Sustituyendo  $Q_{mAL1}$  y  $Q_{mSGL1}$  en el balance total (ecuación 2.25)

$$Q_{mALP} + Q_{mAP1} = Q_{mAL1} + Q_{mSGL1}$$

$$Q_{mAP1} = Q_{mAL1} + Q_{mSGL1} - Q_{mALP}$$

$$Q_{mAP1} = 13.65 \text{ t/h} + 15.33 \text{ t/h} - 14.95 \text{ t/h} = 14.03 \text{ t/h}$$

**Anexo 24.** Cálculos de balance de masa en el refino 3. **Fuente.** Elaboración propia.

Teniendo como datos

$$Q_{vAL3} = 8 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\rho_{AL3} = 1141 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_{vAP3} = 7 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\rho_{AP3} = 997 \text{ kg/m}^3$$

Utilizando la ecuación 2.22

$$Q_m = Q_V * \rho$$

$$Q_{mAL3} = 8 \frac{m^3}{h} * 1141 \frac{kg}{m^3} = 9128 \frac{kg}{h} * \frac{1 t}{1000 kg} = 9.13 t/h$$

$$Q_{mAP3} = 7 \frac{m^3}{h} * 997 \frac{kg}{m^3} = 6979 \frac{kg}{h} * \frac{1 t}{1000 kg} = 6.98 t/h$$

Según la ecuación 2.27

$$\text{Balance total: } Q_{mAL1} + Q_{mAP3} = Q_{mAL3} + Q_{mSGL3}$$

$$Q_{mAL1} + Q_{mAP3} = Q_{mAL3} + Q_{mSGL3}$$

$$Q_{mSGL3} = Q_{mAL1} + Q_{mAP3} - Q_{mAL3}$$

$$Q_{mSGL3} = 13.65 t/h + 6.98 t/h - 9.13 t/h$$

$$Q_{mSGL3} = 11.5 t/h$$

**Anexo 25.** Cálculos de balance de energía en el calentador de aire para el secadero de gluten. **Fuente.** Elaboración propia.

$$Q_G + \eta Q_c = 0$$

$$Q_G = \text{aire}$$

$$Q_c = \text{vapor}$$

Teniendo como dato

$$m_{\text{aire}} = 931914 \frac{kg}{h} * \frac{1 t}{1000 kg} = 931.19 t/h$$

$$C_{p_{\text{aire}}} = 6.9 \frac{cal}{mol * k}$$

$$T_1 = 293 \text{ } ^\circ k$$

$$T_2 = 433 \text{ } ^\circ k$$

$$\gamma_{1Mpa} = 2015.3 \frac{kJ}{kg}$$

Utilizando la ecuación 2.28

$$Q_G = \int_{T_1}^{T_2} m_{\text{aire}} * C_{p_{\text{aire}}} dt$$

$$Q_G = m_{\text{aire}} * C_{p_{\text{aire}}} * (T_2 - T_1)$$

$$Q_G = 931.19 \text{ t/h} * 6.9 \text{ cal/mol} * k * (433 \text{ }^\circ\text{k} - 293 \text{ }^\circ\text{k})$$

$$Q_G = 899529.4 \text{ kcal/h} * \frac{0.001 \text{ kcal}}{1 \text{ kcal}} = 899.53 \text{ kcal/h}$$

$$Q_C = m_{\text{vapor}} * \gamma_{1\text{Mpa}}$$

$$Q_C = m_{\text{vapor}} * 2015.3 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_G + nQ_C = 0 \quad \text{Suponiendo que } n = 100\%$$

$$Q_G = nQ_C$$

$$\frac{899.53 \text{ kcal}}{h} = m_{\text{vapor}} * \frac{2015.3 \text{ kJ}}{kg} * \frac{1 \text{ kcal}}{4.18 \text{ kJ}}$$

$$899.53 \text{ kcal/h} = m_{\text{vapor}} * 482.13 \text{ kcal/kg}$$

$$m_{\text{vapor}} = \frac{899.53 \text{ kcal/h}}{482.13 \text{ kcal/kg}} = 1.86 \text{ kg/h} * \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} = 0.00186 \text{ t/h}$$

**Anexo 26.** Definiciones de las estrategias y soluciones de la EC. **Fuente.** (CircularTRANS, 2021)

Estrategia	R	Descripción
Repensar (R1)		Se trata de reinventar el modelo de negocio, el producto/servicio o el proceso productivo ofreciendo la misma funcionalidad, pero, adoptando para ello vías totalmente diferentes (servitización, multifuncionalidad, avance tecnológico, virtualización, nuevos materiales, canales para uso compartido, etc.) Se trata de ofrecer un valor añadido que permita optimizar el uso de recursos, alargar la vida útil y abordar el fin de vida.
	Reutilizar (R2)	Alargar la vida útil del producto o de las partes que todavía están en buenas condiciones y cumplen con su funcionalidad original. En algunos casos es necesario realizar tareas de limpieza, testeo o volver a embalar. Las operaciones que se le realizan son mínimas.
	Reparar (R3)	Alargar la vida útil del producto contrarrestando el desgaste y corrigiendo los componentes o piezas defectuosas para devolverle su funcionalidad. Puede requerir de limpieza, testeo y desmontaje parcial.
Alargar la vida útil: Extender al máximo la vida útil de los productos con el fin de intensificar su uso a lo largo de su ciclo de vida, aminorando así, el consumo de nuevos	Reacondicionar (R4)	Alargar la vida útil del producto mediante acciones (actualizaciones, modificaciones de partes, etc.) que permiten devolverle su funcionalidad, aunque nunca llegaría a las prestaciones originales. El reacondicionamiento puede implicar operaciones como la inspección, la limpieza, el desmontaje parcial, la reparación y el testeo final.

recursos y la generación de residuos		
	Dar otro uso (R5)	Alargar la vida útil del producto utilizando el producto o sus partes para un uso diferente a la original.
	Remanufacturar (R6)	Alargar la vida útil del producto mediante un proceso industrial donde se restituye un producto utilizado, al menos a sus condiciones originales o equivalentes o mejores que el producto original, a través de la inspección, desmontaje, limpieza, reprocesamiento, montaje y testeo final.
Optimización de los recursos	Reducir (R7)	Disminuir el uso de recursos mejorando la eficiencia en todo el ciclo de vida del producto/servicio (proceso de abastecimiento, proceso de fabricación, el uso del producto, operaciones logísticas, etc.). Busca el mínimo absoluto.
Fin de vida/Cierre de ciclo: Conlleva cerrar el ciclo de vida de los materiales a través de sistemas eficientes de recogida, recuperación de materiales y reciclaje	Reciclar (R8)	Alargar la vida útil de los materiales procesándolos o recuperándolos para obtener un material de igual calidad o comparable. En algunos casos se transforma en otro material distinto.
	Recuperar (R9)	Cerrar el ciclo de un material mediante recuperación de energía, materiales o los nutrientes del compostaje.

**Anexo 27.** Calculo del flujo actual del producto. **Fuente.** Elaboración propia.

Teniendo como datos:

$$F_R = 0.03$$

$$F_U = 0.07$$

$$M = 9.13 \text{ t/h}$$

$$W_0 = 7051.07 \text{ kg} * \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} = 7.05 \text{ t}$$

Base de calculo 1h

Utilizando la ecuación 2.36

$$V = M(1 - F_R - F_U)$$

$$V = 9.13 \text{ t} * (1 - 0.03 - 0.07) = 8.217 \text{ t}$$

Según ecuación 2.37

$$W = W_0 + \frac{W_F + W_c}{2}$$

$$W = W_0 = 7.05 \text{ t}$$

Calculamos IFL según ecuación 2.35

$$IFL = \frac{(V + W)}{2M + \frac{W_F - W_c}{2}}$$

$$IFL = \frac{(8.217 t + 7.05 t)}{2 * 9.13 t} = \frac{15.267 t}{18.26 t} = 0.83$$

**Anexo 28.** Calculo del índice de consumo de materia prima. **Fuente.** Elaboración propia.

Utilizando la ecuación 2.41

$$ICMP = \frac{Vol. Consumido}{Vol. Producción} = \frac{838.29 L}{6086.66 L} = 0.1377 = 13.77\%$$

*materia prima externa que se recicla = 274.29 L*

*Vol. consumido = materia prima entra + materia prima externa que se recicla*

*Vol. consumido = 565 L + 274.29 L = 838.29 L*

$$Maíz = \frac{0.43 t}{760 \frac{kg}{m^3}} = \frac{430 kg}{0.76 \frac{kg}{L}} = 565.79 L$$

$$0.43 t * \frac{1000 kg}{1 t} = 430 kg$$

$$760 \frac{kg}{m^3} * \frac{1 m^3}{1000 L} = 0.76 \frac{kg}{L}$$

$$Almidón = \frac{9130 kg}{1.5 \frac{kg}{L}} = 6086.66 L$$

$$9.13 t * \frac{1000 kg}{1 t} = 9130 kg$$

$$1.5 \frac{g}{cm^3} * \frac{0.001 kg}{1 g} * \frac{1 cm^3}{0.001 L} = 1.5 \frac{kg}{L}$$

**Anexo 29.** Cálculo del índice de consumo de agua. **Fuente.** Elaboración propia.

Utilizando la ecuación 2.46

$$ICA = \frac{Vol. Consumido}{Vol. Producción} = \frac{22\ 661,85 L}{67\ 985,55 L} = 33.33\%$$

**Anexo 30.** Cálculo de la proporción de agua reutilizada. **Fuente.** Elaboración propia.

Utilizando la ecuación 2.47

$$PAR = \frac{\text{Volumen total de agua reutilizada}}{\text{Agua total consumida en el proceso productivo}}$$

$$PAR = \frac{0}{22661.85 L} = 0\%$$

**Anexo 31.** Cálculo del por ciento (%) de energía renovable. **Fuente.** Elaboración propia.

Haciendo uso de la ecuación 2.48

$$ER = \frac{\text{energía renovable(consumo anual)}}{\text{energía total(consumo anual)}} * 100\%$$

$$ER = \frac{0}{21700.58 kW} * 100\% = 0\%$$