



FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

**TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE
INGENIERAQUÍMICA**

Evaluación del impacto ambiental de la producción de Almidón
de la Empresa GydeMa.

Autora: Sadis Caridad Fernández Geroy

Tutores: MSc Elisa María Chou Rodríguez

MSc Alejandro Valdés López

Cienfuegos 2020

PENSAMIENTO:

El saber no es suficiente, debemos aplicar.

El querer no es suficiente, debemos hacer.

Goethe

DEDICATORIA:

A Dios por una nueva vida y la oportunidad de hacer pequeñas y grandes cosas con ella.

A mi familia por ayudarme y apoyarme para seguir adelante y hacer este sueño posible.

A mis amigos, los de lejos y los de cerca, por la mano tendida, el ánimo y la fuerza que me brindan siempre.

AGRADECIMIENTOS:

A mi madre Teodora Maritza Geroy de la Torre y mi hermana Addis Bárbara Fernández Geroy; sin ellas este sueño no hubiese sido posible.

A mis tíos Ileana Geroy de la Torre y Vicente Morales Quiles, que desde niña me enseñaron lo importante que es crecer como persona.

A la Universidad de Cienfuegos por abrirme sus puertas.

A Bárbara Companioni por mimarme y defenderme.

A mis tutores Elisa María Chou Rodríguez y Alejandro Valdés López por las horas dedicadas y el empeño de ayudarme para culminar mi carrera.

A los Ingenieros Javier García Hernández y Alexis ReyesPérez por colaborar en la búsqueda de información en la Empresa GydeMa.

A HIRON Abrahams López e Iván Almanza Stable por todos los años de la Carrera que me ayudaron.

A mis amigos del aula por las risas, los buenos ratos y por siempre defendernos como una familia.

A mi Neurocirujano José Enrique Vaquer Fernández por salvarme la vida y por enseñarme que todo sueño siempre que se persiga es posible.

Gracias a todas las personas que directa e indirectamente me han tendido su mano.

RESUMEN

El presente trabajo de diploma tiene como fin, evaluar el impacto ambiental que causa la producción de Almidón en la Empresa GydeMa en el municipio de Cienfuegos. Dicha evaluación se realiza utilizando el Método Emergético propuesto por Howard T. Odum; pues constituye una herramienta para la evaluación integral y sistémica de los ecosistemas, la cual estima los valores de emergías incorporados en los productos y el impacto de las actividades antrópicas. Los índices emergéticos utilizados en los diferentes análisis fueron: Renovabilidad (%R), Razón de Rendimiento Emergético (EYR), Razón de inversión de la Emergía (EIR) y la Razón de Intercambio de Emergía (EER). Tomando esto como referencia se procederá a latificar posibles alternativas para mejorar la eficiencia del proceso.

Palabras Claves: impacto ambiental, método emergético, eficiencia.

ABSTRACT:

The aim of this research work is to evaluate the environmental impact caused by the production of glucose in the GydeMa Company, in the municipality of Cienfuegos. Said evaluation is carried out using the emergent method proposed by Howard T. Odum; it is a tool for the integral and systematic evaluation of ecosystems, which estimates the values of emergies incorporated in the products and the impact of anthropic activities. The emergetic indices used in the different analyzes were: renewable (%R), reason of emergetic performance (EYR), reason of investment of the emergic (EIR) and the reason of exchange of emergic (EER). Taking this as a reference, alternatives to improve the efficiency of the process will be developed.

Keywords:Environmental impact, emergetic method, efficiency.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: ESTUDIOS DOCUMENTALES	5
1.1 Desarrollo Sostenible	5
1.1.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible. Agenda 2030	6
1.1.2 Objetivos de Desarrollo Sostenible en Cuba.....	8
1.2 Industria alimentaria.	9
1.2.1 Importancia.....	9
1.2.2 El maíz y la alimentación.	10
1.2.3 Almidón de Maíz.....	11
1.2.3 Subproductos del proceso de obtención de almidón de maíz y sus aplicaciones.	13
1.3 Impactos Ambientales en la industria alimentaria	17
1.4 Evaluación de Impactos Ambientales.....	19
1.5 Métodos de Evaluación de Impactos Ambientales	20
1.5 Análisis Emergético	22
1.5.1 Síntesis Emergética	22
1.5.2 Etapas para la conducción de un análisis emergético.	24
1.5.3 Principales característica, críticas y aciertos de la metodología emergética 25	
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.	28
2.1. Localización geográfica.....	28
2.1.2 Caracterización del objeto de estudio.....	28
2.1.3 Características del esquema tecnológico:.....	30
2.1.4 Descripción del Proceso de Producción de Almidón en la Empresa GydeMa Cienfuegos.....	31
2.2 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.	35
2.2.1 Metodología emergética.....	36
2.2.2 Definición de los límites espacio-temporales.....	37
2.3 Construcción de la Tabla Emergética:	38
2.3.1 Cálculo y análisis de los indicadores emergéticos	40
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	45
3.1 Límites espacio-temporales del estudio	45
3.2 Modelación del sistema	45

3.3 Construcción de la Tabla Emergética.	49
3.5 Resultados y análisis del cálculo de los indicadores emergéticos.	52
3.6 Identificación de posibles mejoras.	53
CONCLUSIONES	55
RECOMENDACIONES	56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

Introducción

INTRODUCCIÓN

La complejidad y extensión de los problemas medioambientales contemporáneos ha evidenciado que no necesariamente un mayor desarrollo implica mayor calidad de vida, lo que ha roto el mito de que siempre el beneficio que se obtiene de la industria es netamente mayor que los inconvenientes que esta puede ocasionar. Cada vez más la evidencia científica demuestra la responsabilidad de las acciones del hombre, particularmente en las sociedades industrializadas guiadas por el capitalismo y el consumismo, derrochador con el aumento desmedido de los gases de efecto invernadero muy por encima de los producidos por causas naturales, lo que rompe un equilibrio natural, así como por las acciones despilfarradoras y contaminantes sobre bosques, ríos, mares, depósitos naturales de agua y las tierras cultivables, entre otros factores de equilibrio vitales para la vida y la existencia de todos los seres vivos en el planeta.

La introducción del concepto de desarrollo sostenible constituyó un punto de inflexión en el análisis de esta problemática puesto que se ha creado una conciencia que el estrés al que se encuentra sometido el planeta no es viable para la preservación de la especie humana en el tiempo (Valdés, 2019). Para esto se debe lograr un uso más eficiente de la energía, del agua y materiales en general, de manera que se pueda minimizar la contaminación durante el proceso de producción, logrando un equilibrio entre las necesidades antrópicas y ecológicas para lograr la sostenibilidad.

Sin embargo, una problemática frecuente es que hasta la fecha no se ha alcanzado un consenso académico sobre la evaluación de la sostenibilidad de los procesos y/o recursos, dada su extraordinaria complejidad científica. Las políticas de desarrollo deben considerar de forma común los efectos socioeconómicos y ambientales para que tanto las contribuciones del medio ambiente como las contribuciones de la economía al bienestar humano sean valoradas de manera justa (Campbell, 2009). Esto ha impulsado la búsqueda de nuevos métodos de evaluación ambiental, que permitan integrar las diferentes formas de energía y su interacción con el medio.

De acuerdo a Bravo (2019) la evolución de las herramientas que permiten valorar la sostenibilidad de sistemas socioproductivos, que por su naturaleza son sistemas complejos, ha estado condicionada a la propia evolución de la concepción que el hombre ha adquirido de su modelo de desarrollo. Estas han transitado desde la concepción de valor monetario a partir de la contabilidad de la adquisición de bienes asociada al

bienestar económico y al producto interno bruto (PIB), la concepción del valor de la energía incorporada al sistema considerando la contabilidad de los bienes y servicios ambientales tales como los métodos de análisis de ciclo de vida y método exergético, hasta la concepción por el valor biofísico a partir de una interpretación desde la termodinámica de la interrelación del hombre con el socio-ecosistema, desarrollado por (Odum, 1996) conocido como el método emergético, o sea, la memoria energética del ecosistema socioproductivo.

El cambio hacia indicadores físicos y biogeofísicos permite analizar factores a los que resulta casi imposible asignarle un valor económico o donde el dinero no es un estándar adecuado para describir las relaciones del sistema. Tal es el caso de la valoración de los impactos ambientales de las emisiones contaminantes, la capacidad de resiliencia de los ecosistemas naturales para soportar las actividades antrópicas o el costo ambiental para mantener el estándar de vida contemporáneo. Sin embargo, hasta nuestros días los decisores se sienten más unidos con los indicadores de la economía tradicional y ambiental lo que está dado en gran medida por el desconocimiento de otras herramientas, la falta de un enfoque proactivo y porque en un mundo complejo y dinámico como el contemporáneo los intereses económicos todavía prevalecen (Valdés, López Bastida, & Alonso, 2019).

No obstante, esta situación ha ido cambiando paulatinamente y tanto en el contexto académico como en políticas ambientales trazadas por los estados cada vez más se utilizan métodos de esta naturaleza. Hasta la fecha la aplicación del análisis emergético en Cuba ha sido muy limitada, aunque existe un creciente interés en desarrollar metodologías que permitan incorporar los análisis de sustentabilidad de cualquier socio-ecosistema (SES), los aportes que hace la naturaleza y su durabilidad a mediano y largo plazo así como el efecto de sus residuos (Bravo Amarante, López Bastida, & Romero Romero, 2018).

En el ambiente local de la provincia de Cienfuegos, la Empresa Glucosa y derivados del Maíz, conocida como GydeMa, constituye una de las más importantes para el desarrollo de la provincia. Involucrada en un proceso de perfeccionamiento de su gestión, cuenta con una Estrategia Ambiental desde el año 2009 que se materializa en planes de acción a corto, mediano y largo plazo, la cual hasta el momento resulta insuficiente para resolver los problemas ambientales que ocasiona. Aunque en la entidad se han desarrollado estudios de impacto ambiental, hasta la fecha han estado en la tendencia de

la economía tradicional por lo que parece adecuado realizar análisis desde otra perspectiva. Luego, a partir de lo anterior se plantea como problema de investigación:

Problema de investigación:

“No existe referencia de estudios basados en indicadores biogeofísicos para la identificación de los impactos ambientales que genera la producción de almidón de la Empresa GydeMa de la provincia Cienfuegos.”

El objeto de estudio de la investigación es la Empresa Glucosa Cienfuegos, con un campo de acción definido a la gestión ambiental. Considerando estos elementos se formula la siguiente hipótesis:

Hipótesis:

“Si se realizara un análisis emergético en la Empresa GydeMa, se podrá determinar el potencial impacto ambiental del proceso de producción de almidón de maíz”

Objetivo general:

Evaluar mediante el análisis emergético el proceso de producción de almidón de maíz en la Empresa GydeMa.

Objetivos específicos:

1. Fundamentar teóricamente los elementos metodológicos para la aplicación de un análisis emergético vinculado a la producción de almidón.
2. Evaluar el desempeño ambiental de la producción de almidón de maíz en la empresa objeto de estudio mediante el análisis de los indicadores emergéticos.
3. Identificar alternativas a valorar para mejorar el desempeño del sistema analizado.

Para conducir la investigación la tesis se estructuró en tres capítulos:

En el **capítulo I** se introduce el concepto de desarrollo sostenible, los objetivos del desarrollo sostenible para la nueva agenda 2030 y se identifican algunas causas de la insostenibilidad de la sociedad contemporánea. Se continúa exponiendo las principales características que presenta el almidón, y la importancia de lograr su sostenibilidad para mitigar los impactos ambientales que su producción genera al país. Para ello se plantean los diferentes métodos de evaluación de impactos que existen y específicamente se toma de referencia el Método Emergético para evaluar el proceso de Almidón.

El **capítulo 2** comienza con una caracterización del objeto de estudio. Después, se propone un algoritmo para conducir la evaluación. Se explican las particularidades del simulador usado para el balance de energía; se destacan las consideraciones asumidas, las fórmulas para el cálculo de los indicadores y las limitaciones del estudio.

En el **capítulo 3** se exponen y analizan los resultados obtenidos. Este se basa principalmente en la información obtenida de la simulación del sistema termoenergético del objeto de estudio y de las diferentes etapas de la metodología emergética. Finalmente, se recomiendan alternativas a evaluar para el desarrollo de la entidad.

Aportes de la Investigación

- 1- Se evaluó la sostenibilidad de la Empresa GydeMa Cienfuegos mediante un procedimiento novedoso del que no existen trabajos previos en la entidad.
- 2- Se identificaron las unidades de valor emergético de las principales corrientes de entradas y salidas del proceso de producción de Almidón, permitiendo que este trabajo sirva como referencia para su aplicación en otros casos de estudio.

Resultados obtenidos

- 1- Los resultados de la investigación facilitan la toma de decisiones para minimizar el impacto ambiental de la Empresa GydeMa Cienfuegos. Los indicadores emergéticos proporcionan información para valorar las alternativas más interesantes para el desarrollo de la entidad siguiendo las pautas de la economía ecológica.
- 2- En este trabajo se aboga por lograr un sistema industrial sostenible. En la medida que se fundamenta, a partir de la emergencia, la necesidad de adoptar una postura económica ecocéntrica que contribuya a la preservación del medio ambiente.

Capítulo I

CAPITULO I: ESTUDIOS DOCUMENTALES

En este capítulo se realiza una actualización del estado del arte que hace referencia al concepto fundamental de desarrollo sostenible y a los objetivos del desarrollo sostenible para la nueva agenda 2030 tanto en el ámbito internacional como nacional. Luego se hace una caracterización del maíz como materia prima principal y del almidón como una importante fuente de alimento. Se abordan los principales impactos ambientales que genera la producción de almidón en la Empresa GydeMa y se proponen entre varios métodos de evaluación de impactos el Método Emergético.

1.1 Desarrollo Sostenible

El desarrollo sostenible es un concepto que aparece por primera vez en 1987 con la publicación del Informe Brundtland, que alertaba de las consecuencias medioambientales negativas del desarrollo económico y la globalización, y trataba de buscar posibles soluciones a los problemas derivados de la industrialización y el crecimiento de la población. Su objetivo era relacionar los problemas del medio ambiente con los del desarrollo, combinando la lucha contra la pobreza con la economía y la ecología (Ochoa, 2008).

Muchos de los retos a los que se enfrenta el ser humano, tales como el cambio climático, la escasez de agua, las desigualdades o el hambre, solo se pueden resolver desde una perspectiva global y promoviendo el desarrollo sostenible: una apuesta por el progreso social, el equilibrio medioambiental y el crecimiento económico.

En septiembre de 2000, basada en un decenio de grandes conferencias y cumbres de las Naciones Unidas, los dirigentes del mundo se reunieron en la sede de las Naciones Unidas en Nueva York, aprobando la Declaración del Milenio, comprometiendo a sus países con una nueva alianza mundial para reducir los niveles de extrema pobreza y estableciendo una serie de objetivo con metas e indicadores, conocidos como los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) cuyo vencimiento llegó en el 2015.

Los ODM estaban compuestos de 8 objetivos y básicamente de, 18 metas y 48 indicadores. Los ODM del 1 al 7 buscaban que los países en vías de desarrollo tomaran nuevas medidas y aunaran esfuerzos en la lucha contra la pobreza, el analfabetismo, el hambre, la falta de educación, la desigualdad entre los géneros, la mortalidad infantil y la materna, el VIH/sida y la degradación ambiental; mientras que el ODM 8 instaba a los países desarrollados a adoptar medidas para aliviar la deuda, incrementar la

asistencia a los países en desarrollo y promover un mercado más justo. En el año 2015, luego del cumplimiento del plazo de los 8 Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), los Estados acordaron una nueva agenda para el desarrollo.

Como una nueva hoja de ruta para lograr un desarrollo sostenible, Naciones Unidas aprobó la Agenda 2030 que contiene los Objetivos de Desarrollo Sostenible, una serie de metas comunes para proteger el planeta y garantizar el bienestar de todas las personas. Estas metas comunes necesitan la implicación activa de las personas, las empresas, las administraciones y los países de todo el mundo (Naciones Unidas, 2018)

1.1.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible. Agenda 2030

La Agenda de Desarrollo 2030 es un plan de acción en favor de las personas, el planeta y la prosperidad. También tiene por objeto fortalecer la paz universal dentro de un concepto más amplio de la libertad. La aprobación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) representa una oportunidad histórica para unir a los países y las personas de todo el mundo y emprender nuevas vías hacia el futuro. Los ODS están formulados para erradicar la pobreza, promover la prosperidad y el bienestar para todos, proteger el medio ambiente y hacer frente al cambio climático a nivel mundial.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible, también conocidos como los Objetivos Globales, son una llamada de Naciones Unidas a todos los países del mundo para afrontar los grandes desafíos a los que se enfrenta la humanidad y garantizar que todas las personas tengan las mismas oportunidades y puedan llevar una vida mejor sin comprometer nuestro planeta (Perez, 2015).

Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible y sus 169 metas son de carácter integrado e indivisible, de alcance mundial y de aplicación universal, tienen en cuenta las diferentes realidades, capacidades y niveles de desarrollo de cada país y respetan sus políticas y prioridades nacionales. Estos objetivos son:

1. Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo.
2. Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.
3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.
4. Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos.

5. Lograr la igualdad entre los géneros y el empoderamiento de todas las mujeres y niñas.
6. Garantizar la disponibilidad de agua y su ordenación sostenible y el saneamiento para todos.
7. Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.
8. Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos.
9. Construir infraestructura resiliente, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.
10. Reducir la desigualdad en y entre los países.
11. Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.
12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.
13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos (tomando nota de los acuerdos celebrados en el foro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático).
14. Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible.
15. Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, efectuar una ordenación sostenible de los bosques, luchar contra la desertificación, detener y revertir la degradación de las tierras y poner freno a la pérdida de la diversidad biológica.
16. Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar el acceso a la justicia para todos y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles.
17. Fortalecer los medios de ejecución y revitalizar la alianza mundial para el desarrollo sostenible.

Si bien las metas expresan las aspiraciones a nivel mundial, cada gobierno fijará sus propias metas nacionales, guiándose por la ambiciosa aspiración general pero tomando en consideración las circunstancias del país. Cada gobierno decidirá también la forma

de incorporar esas aspiraciones y metas mundiales en los procesos de planificación, las políticas y las estrategias nacionales(Naciones Unidas, 2018).

1.1.2 Objetivos de Desarrollo Sostenible en Cuba

América Latina y el Caribe han registrado avances en un conjunto de variables económicas que tributan a los indicadores de la Agenda 2030, aún los recursos financieros recibidos por la región continúan siendo insuficientes. La región se enfrenta a serias amenazas contra la paz y la estabilidad de sus naciones, crece la militarización y el uso encubierto de las tecnologías de la información para atacar a otros Estados, junto a la manipulación de conceptos de soberanía y seguridad (Hernandez, 2000).

Cuba construye una sociedad socialista próspera y sostenible. La sostenibilidad en lo económico, social y medioambiental está asociada al desarrollo y requiere ritmos y estructuras de crecimiento de la economía que aseguren: la prosperidad con justicia y equidad sociales en armonía con el medio ambiente, el uso racional y la preservación de los recursos naturales, así como el cuidado y enriquecimiento del patrimonio de la nación. El incremento sostenible de la producción social y la riqueza es premisa material imprescindible para elevar gradualmente el nivel y calidad de vida, la realización plena del ser humano y sus proyectos individuales, familiares y colectivos, mediante una justa y equitativa distribución de la riqueza, avanzando en la erradicación de desigualdades ilegítimas.

Nuestro país presenta el primer informe nacional ante el Foro de los Países de América Latina y el Caribe sobre el Desarrollo Sostenible en cumplimiento de sus responsabilidades internacionales y a tono con el actual proceso de actualización de su modelo económico y social.

Las prioridades del gobierno cubano se centran en continuar impulsando el desarrollo integral y pleno de los seres humanos, lograr un desarrollo económico con equidad y mayor nivel y calidad de vida de la población, la consolidación de los valores éticos y políticos, las prácticas y actitudes que nos distinguen como sociedad, así como las conquistas de la Revolución, tales como: el acceso gratuito a la atención médica, la educación, la cultura, el deporte, la justicia, la seguridad social y asistencia social y la tranquilidad, condiciones indispensables para alcanzar una nación soberana, independiente, socialista, democrática, próspera y sostenible.

El trabajo que se ha venido desarrollando en pos del cumplimiento de la Agenda 2030, coordina la labor de las instituciones nacionales, la sociedad civil y la academia cubana,

donde todos los actores involucrados comparten la misma visión estratégica de país y prioridades del desarrollo, participan y dialogan, intercambian experiencias y buenas prácticas en las tres dimensiones: económica, social y medioambiental. Además, se dispone de instrumentos normativos que permiten la producción de datos y están establecidos los canales de comunicación entre todos los actores, lo cual ha significado una fortaleza en el seguimiento, evaluación, control y rendición de cuenta a todos los niveles de gobierno en la preparación e implementación de la Agenda.

1.2 Industria alimentaria.

Resolver los problemas que actualmente presenta la industria alimentaria en el mundo, constituye un eslabón fundamental para garantizar el cumplimiento de algunos de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible planteados para la nueva agenda 2030. Entre estos objetivos se pueden mencionar:

#2. Hambre Cero.

#3. Salud y Bienestar.

#8. Trabajo decente y Crecimiento Económico.

#9. Industria, Innovación e Infraestructura.

#12. Producción y consumo responsable.

Estos objetivos representan retos para los países, pues alcanzarlos requiere desarrollar las capacidades de las industrias, garantizando que cada ciudadano pueda acceder a una alimentación básica que le permita tener una buena salud alimentaria. Para esto, se requiere el pleno esfuerzo de la agricultura de conjunto con la industria alimentaria para así brindar un producto de calidad; por lo que velar el estricto cumplimiento del trabajo y ofrecer puestos a todo tipo de personal, contribuye a que se fomente el propio desarrollo laboral y la innovación en el sector.

1.2.1 Importancia.

La industria alimentaria o alimenticia es la que procesa las materias primas y las transforma en productos para la venta y el consumo. Su importancia reside en que interviene directamente con nuestra supervivencia, por lo tanto, históricamente representa uno de los engranajes más importante de la economía de cualquier país.

Mientras que durante muchos siglos, el ser humano ha producido su propio alimento manualmente, es decir, obteniendo el alimento necesario de la naturaleza y transformándolo con sus propias manos en productos más complejos, en los últimos

siglos la humanidad ha desarrollado maquinaria que produce alimentos a gran velocidad y a una escala mucho mayor.

La industria alimentaria tiene a su favor que los productos generados por ella nunca dejarán de ser necesarios. Los beneficios de esta zona económica también tienen que ver con el hecho de que permite la producción de alimentos para una población mucho mayor, de modo que lo que antes se hacía a mano, ahora es abundante y puede llegar a más personas (Carrera Sánchez, 1983).

El mundo atraviesa hoy un vertiginoso período de cambios. La economía mundial crece e incorpora cada vez más personas a la clase media y el mayor poder adquisitivo de una población creciente impacta directamente sobre la demanda de energía y alimentos. El desafío del mundo actual está en mantener e incrementar el desarrollo económico y social e incorporarlos a centenares de millones de personas que todavía están en situación de pobreza, hambre o acceso inadecuado a los alimentos. En respuesta a esta demanda, el maíz ha resultado ser el cereal que contribuye a desarrollar la economía y a resolver una gran parte de los problemas de hambre que el mundo presenta. La producción mundial de maíz incrementó en la última década más de un 50%, alcanzándose en el año 2019, el pico máximo con 986 millones de toneladas, transformando así al maíz en el cereal más cultivado del mundo, superando al trigo y al arroz (Carrillo & Reyes, 2013).

1.2.2 El maíz y la alimentación.

El maíz es el cereal de los pueblos y culturas del continente americano. Las más antiguas civilizaciones de América estuvieron acompañadas en su desarrollo por esta planta. (Serratos Hernández, 2009). Su nombre científico proviene del griego Zeo, que significa vivir y de la palabra Mahíz, palabra que los nativos del Caribe, llamados taínos, utilizaban para nombrar al grano. Este es llamado de diferentes maneras, dependiendo del país y de la cultura. En América es conocido como elote, choclo, jojoto, sara o zara. En las diferentes regiones de España es llamado danza, millo, mijo, panizo, borona u oroña (Pliego, 2015).

La mayor cantidad de la producción mundial de maíz es destinada a la alimentación animal. En algunos países se emplea como alimento humano en cantidades muy significativas, puesto que este grano es una fuente importante de materia prima para producir almidón y derivados, como edulcorantes, aceite, alcohol, entre otros. Estos últimos pueden ser, y en cierta medida ya lo están siendo utilizados como materia prima

en la industria química, y en algunos casos como reemplazo de los derivados del petróleo. A diferencia de este último, el maíz presenta ciertas ventajas ya que es un recurso renovable, los productos finales obtenidos son biodegradables y su degradación no altera el balance de anhídrido carbónico atmosférico (Robutti, 2014). Además de ser empleado como alimento animal o humano, puede ser utilizado con fines medicinales ya que ayuda en la prevención de enfermedades letales como el cáncer, principalmente en los tipos de cáncer ubicados en las mamas, en los pulmones y en la próstata siendo estos de los más comunes. Los pelos del maíz son utilizados para remedios caseros contra problemas renales, para controlar la presión, como prevención y ayudando a regular el colesterol y además es bueno para problemas digestivos, endocrinos y dermatológicos. Puede ser además un anti estrés, ya que contiene vitamina B₁ o tiamina, esta vitamina influye directamente sobre la energía de nuestro organismo, un déficit de esta pudiera provocar depresión o una baja calidad de nuestro desarrollo normal del cerebro. Además, contiene ácido fólico, siendo muy importante para las mujeres embarazadas y en edad fértil. Este es recomendado también para el cabello y la piel, ya que tiene efecto antioxidante (Pliego, 2015).

1.2.3 Almidón de Maíz.

El almidón de maíz (maicena) es una de nuestras manufacturas fundamentales, constituye un producto de alta demanda popular, utilizado en la industria alimentaria, textil, papel y otras. Es un alimento esencial en la dieta de niños y ancianos.

Es el principal polisacárido de reserva de la mayoría de los vegetales y la fuente de calorías más importantes consumida por el ser humano. Es un constituyente imprescindible en los alimentos en los que está presente, desde el punto de vista profesional gran parte de las propiedades de la harina y de los productos de panadería y repostería pueden explicarse conociendo las características del almidón.

El almidón está constituido por dos compuestos de diferente estructura:

Amilasa: está formada por α -D-

glucopiranosas unidas por centenares o miles (normalmente de 300 a 3000 unidades de glucosa) mediante enlaces α -(1 $\rightarrow$ 4) en una cadena sin ramificar, o muy escasamente ramificada mediante enlaces α -(1 $\rightarrow$ 6). Esta cadena adopta

una disposición helicoidal y tiene seis monómeros por cada vuelta de hélice. Suele consti

tuir del 25 al 30% del almidón (Camps & González, 2002).

Amilopectina: representa el 70-75% restante. También está formada por α -D-glucopiranosas, aunque en este caso conforma una cadena altamente ramificada en la que hay uniones α -(1 $\rightarrow$ 4), como se indicó en el caso anterior, y muchos enlaces α -(1 $\rightarrow$ 6) que originan lugares de ramificación cada doce monómeros. Su peso molecular es muy elevado, ya que cada molécula suele reunir de 2.000 a 200.000 unidades de glucosa.

De todos modos, la proporción entre estos dos componentes varía según el organismo en el que se encuentre. Los almidones de los cereales contienen pequeñas cantidades de grasas. Los lípidos asociados al almidón son, generalmente, lípidos polares, que necesitan disolventes polares tales como metanol-agua, para su extracción. Generalmente el nivel de lípidos en el almidón cereal, está entre 0.5 y 1%. Los almidones no cereales no contienen esencialmente lípidos. Desde el punto de vista químico, es una mezcla de dos polisacáridos muy similares, la amilosa y la amilopectina; contienen regiones cristalinas y no cristalinas en capas alternadas. Puesto que la cristalinidad se produce por el ordenamiento de las cadenas de amilopectina, los gránulos de almidón céreo tienen un parecido grado de cristalinidad que los almidones normales. La disposición radial y ordenada de las moléculas de almidón en un gránulo resulta evidente al observar la cruz de polarización (cruz blanca sobre un fondo negro) en un microscopio de polarización cuando se colocan los polarizadores a 90° entre sí. El centro de la cruz corresponde con el hilum, el centro de crecimiento del gránulo (Núñez Hernández & Contreras, 2003).

La amilosa es el producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos α -(1,4), que establecen largas cadenas lineales con 200-2500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón; es decir, la amilosa es una α -D-(1,4)-glucan cuya unidad repetitiva es la α -maltosa. Tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de hélice consta de seis moléculas de glucosa. El interior de la hélice contiene sólo átomos de hidrógeno, y es por tanto lipofílico, mientras que los

grupos hidroxilo están situados en el exterior de la hélice. La mayoría de los almidones contienen alrededor del 25% de amilosa. Los dos almidones de maíz comúnmente conocidos como ricos en amilosa que existen comercialmente poseen contenidos aparentes de masa alrededor del 52% y del 70-75%.

La amilopectina se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular similar a la de un árbol; las ramas están unidas al tronco central (semejante a la amilosa) por enlaces α -D-(1,6), localizadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa. Su peso molecular es muy alto ya que algunas fracciones llegan a alcanzar hasta 200 millones de daltons. La amilopectina constituye alrededor del 75% de los almidones más comunes. Algunos almidones están constituidos exclusivamente por amilopectina y son conocidos como *céreos* (Pliego, 2015).

1.2.3 Subproductos del proceso de obtención de almidón de maíz y sus aplicaciones.

El grano de maíz es una mezcla compleja de almidón, proteína, aceite, agua, fibra, minerales, vitaminas y pigmentos envueltos en un paquete que parece celofán. La molienda húmeda del maíz aumenta el valor nutritivo y económico del paquete separándolo en fracciones homogéneas. Aunque el proceso de la molienda húmeda fue diseñado para producir almidón relativamente puro para usos industriales y alimenticios, la meta hoy en día es buscar la utilización óptima y el valor máximo para cada parte del grano de maíz. La calidad del producto aumenta constantemente gracias a los desarrollos en el proceso de la molienda húmeda, mejoras en los requisitos nutritivos de los animales y las necesidades del consumidor (Weigel, Loy, & Kilmer, 2015).

Como co-productos del proceso de molienda húmeda (ya sea que el almidón se destine a la producción de fructuosa o etanol), se obtienen el *germen* que deriva en el aceite de maíz y el *gluten meal* y *gluten feed*, destinados a la alimentación animal (el *gluten meal* principalmente para aves, y el *gluten feed* para ganado) (Goizueta, 2014).

Licor de Remojo:

Es un co-producto obtenido a partir de la molienda húmeda de maíz, en la literatura también nombrada como *agua de maceración*, es el líquido acuoso que se obtiene

cuando el maíz se digiere con agua caliente con el fin de ablandar e hinchar el grano de maíz. Al mismo tiempo, el material soluble en el grano se extrae en el agua de maceración y este material es bajo las condiciones apropiadas fácilmente fermentables.

El líquido de maceración de maíz, que es rico en nutrientes, encuentra un uso como una materia prima para los organismos usados en la producción industrial de antibióticos, tales como penicilina. Para este propósito, el agua de maceración de maíz procedente de la maceración se somete a un procedimiento de evaporación para separarlo del agua y, de esta forma, concentrar los nutrientes sólidos deseados.

Es importante que el líquido de maceración de maíz usado por la industria de fermentación tenga una calidad constante. Los factores por los que se juzga la calidad son un bajo contenido de azúcares reductores, un elevado contenido de ácido láctico y un color pardo claro. La presencia de elevados niveles de azúcares reductores en el agua de maceración de maíz da lugar a la formación de compuestos tóxicos durante la evaporación y esterilización reduciendo con ello el rendimiento a partir de una fermentación posterior

Este líquido contiene microorganismos muertos, restos de proteína, grasas y carbohidratos digeridos, productos de desechos del metabolismo de los microorganismos y por tanto muchos compuestos químicos que incluyen ácido fórmico, acético, láctico, fítico, propienico y butírico; alcoholes metílicos, etílico, y propílico (España Patent No. 2 037 097, 1993).

Germen

De este se puede obtener aceite, puesto que está constituido básicamente por lípidos (grasas). El aceite de germen presenta importantes propiedades y características que lo hacen ser utilizado con diversos fines. Este aceite a diferencia de otros aceites vegetales es comercializado refinado y fraccionado (Franco, 2002).

Este aceite es altamente utilizado para el consumo humano. Experimentos realizados, han demostrado que al aceite de germen de maíz se le asocian propiedades terapéuticas, es por ello que se utiliza en la dieta diaria de muchas personas; constituyendo así el reemplazo de otras grasas o aceites, puesto que tiende a disminuir el colesterol y las lipoproteínas de la sangre. Esto lo hace ser un producto natural dietético para luchar contra las posibles causas de las arteriosclerosis, principalmente para personas con

arterioesclerosis en una edad avanzada, a personas que presentan problemas de hipertensión, obesidad y trastornos arteriales.

Estudios recientes además que el aceite de maíz tiene mayores efectos benéficos sobre los niveles de colesterol en sangre que el aceite de oliva extra virgen, debido en parte a la capacidad de bloqueo de colesterol natural de esteroides vegetales. El aceite de maíz posee cuatro veces más fitoesteroides que el aceite de oliva, y un 40% más que el de canola. Información basada en el análisis del aceite de maíz y en la comparación de otros aceites para cocinar realizada, enfatizan al acentuar que el aceite de maíz contiene 135,6 mg/porción de fitoesteroides, frente a 30,0 mg/porción en el aceite de oliva. Cabe señalar que los fitoesteroides son sustancias vegetales que se encuentran presentes de forma natural en frutas, verduras, nueces, semillas, cereales, legumbres y en aceites vegetales, tal como el aceite de maíz. El aceite de germen de maíz es seleccionado, con muy baja acidez, de sabor agradable y con un aspecto físico y paladar muy parecido al aceite de oliva; pudiendo ser evidentemente sustituto de este, incluso en todos los usos que se le asocia: crudo, para freír, cocer, etc.

Posee una importante riqueza en vitamina E dado que 100 g. de este alimento contienen 34 mg de esa vitamina, contribuyendo a que sea ideal para prevenir enfermedades circulatorias, vasculares, neurológicas o de esterilidad. No contiene cantidades significativas de proteínas, carbohidratos, ni fibra alimentaria.

Entre las propiedades nutricionales, cabe destacar que tiene los siguientes nutrientes: trazas de vitamina B1, de vitamina B2, de vitamina B5, de vitamina B6, y 31 ug de vitamina K.

Por no contener sodio, consumir el aceite de maíz resulta beneficioso para personas con hipertensión y/o colesterol alto(De Bernaldi, 2016).

Del germen también se pueden producir bagazo, este es una materia prima rica en proteínas y materia grasa, conteniendo además una porción de almidón. El bagazo es utilizado como materia prima para piensos.

El Bagazo de maíz puede ser utilizado en la mayoría de las fórmulas para alimento animal. Se granula fácilmente y favorece, gracias a su contenido elevado de materia seca, la incorporación de líquidos. En las fórmulas para rumiantes, el Bagazo de maíz adquiere un lugar significativo por su valor nutricional elevado y por su excelente apetencia (Dadelos Agrícola, 2016).

Forraje

Se obtiene a partir de las fibras separadas en el procesamiento del maíz. En el proceso de obtención de almidón las fibras son separadas en dos etapas, primero las fibras gruesas y luego las fibras finas, ello con el propósito de evitar al máximo el arrastre de almidón en ellas. Las fibras se unen y se secan para conformar el *Forraje*.

El *Forraje* puede enriquecerse con el Licor de remojo incrementando su valor nutritivo, en este caso añadido a las fibras antes de secarse. Del mismo modo ocurre cuando del gluten se obtiene el aceite y entonces la torta o bagazo también se incorpora a las fibras para extender el *Forraje* (De Bernaldi, 2016).

Gluten

Se pueden obtener principalmente *Gluten feed* y *Gluten meal*, en dependencia de los componentes que los conformen, los cuales son utilizados principalmente como alimento animal.

El Gluten feed de maíz (GFM) también llamado *Pienso de Gluten* o *Corn Gluten feed* es un ingrediente que combina muy bien en mezclas destinadas a lograr altas producciones de carne (feedlot) y leche, debido a que el contenido de almidón puede disminuirse en esas dietas. Cuando el GFM sustituye a importantes cantidades de grano de maíz, la acidosis ruminal, la disminución del consumo y la diarrea disminuyen mientras que el proceso de rumia y la producción aumenta. Este es relativamente alto en proteína (20 a 25%), moderadamente alto en fibra (12 a 16% de FDA=Fibra Detergente Ácido) y moderado en energía. Con respecto al Gluten meal (GM) este es bajo en almidón, ya que la mayoría del mismo fue convertido, mediante procesos enzimáticos durante su industrialización. Se presenta en el mercado como una harina gruesa (seca o húmeda) o en pellets. Los pellets tienen la ventaja de su facilidad de manejo y transporte, además de su aptitud para mezclado en mezcladores. Su contenido de fósforo es alto, no así los de sodio y potasio.

El Gluten Feed húmedo posee color amarillento claro, con sabor dulzón a cereales tostados y ligero olor a maíz fermentado (Camps & González, 2002).

El Gluten Meal es también un subproducto del proceso de molienda húmeda del grano de maíz. Es un ingrediente concentrado energético con alto grado de proteína, cantidades mínimas de almidón y fibra de maíz. Este producto se presenta en forma de harina con granulometría controlada. Posee un color amarillo-anaranjado. Es utilizado principalmente en la elaboración de alimentos para mascotas y aves de corral (Maria, 2012).

1.3 Impactos Ambientales en la industria alimentaria

El impacto ambiental se define como el cambio neto en la salud del hombre, en su bienestar o en su entorno, debido a la interacción de las actividades humanas con los ecosistemas. Es así como un impacto puede ser positivo o negativo y se considera significativo cuando supera los estándares de calidad ambiental, criterios técnicos, hipótesis científicas, comprobaciones empíricas, juicio personal, valoración económica o social, entre otros criterios (Conesa, 2000).

Los principales impactos ambientales que presenta la industria alimenticia son:

- ✓ Contaminación atmosférica.
- ✓ Generación de residuos sólidos.
- ✓ Contaminación de las aguas terrestres y marinas.
- ✓ Elevado consumo de energía.
- ✓ Elevado consumo de agua.

A continuación se explican estos aspectos.

Contaminación atmosférica:

Las emisiones atmosféricas de las instalaciones de procesamiento de alimentos son pequeñas, pero pueden incluir emisiones gaseosas de óxidos de azufre, de nitrógeno, así como hidrocarburos u otros compuestos orgánicos provenientes de los procesos de generación de vapor. Además otro problema que se asocia con las industrias de procesamiento de alimentos se relaciona con los olores nocivos o molestos que puede ocasionar (Malagie & Col, 2000).

En la industria es casi inevitable la emisión de elevados niveles de ruido, pero existe un número de situaciones que provocan la generación de ruidos evitables, por ejemplo: la existencia de salideros de vapor, soldaduras mecánicas, desajustes y en general, todos los defectos que provoquen vibraciones excesivas, los cuales tienden a incrementar el nivel de ruido generado por una planta o equipo (Sexto, 2006).

Generación de residuos sólidos:

Los residuos sólidos en este tipo de industrias pueden ser los generados durante la producción u operaciones del proceso, los residuos del envasado, así como productos vencidos o defectuosos, los cuales constituyen una gran fuente de contaminación si no son tratados adecuadamente. La gestión de residuos sólidos es muy importante ya que mediante el aislamiento y recogida adecuada de los mismos se reduce la concentración de sustancias orgánicas solubles en las aguas residuales. Estos sólidos se pueden emplear con mayor facilidad como subproductos, alimento animal o combustible, a la vez que se reduce el costo del tratamiento de residuos y del producto final (Berkowitz, 2000).

Contaminación de las aguas terrestres y marinas:

Los residuales líquidos de la industria de procesamiento de alimentos, antes de su tratamiento, tienen un contenido extremadamente alto de materia orgánica soluble, aceites, grasas, colibacilos, sólidos suspendidos y disueltos. Además puede haber otros contaminantes como aceites complejos, compuestos alcalinos o ácidos, y otros materiales orgánicos por lo que los recursos hídricos del área circundante a estas instalaciones pueden sufrir deterioro debido a los derrames de efluentes no tratados o tratados ineficientemente. Si las corrientes o cursos de agua que reciben estos efluentes son demasiados pequeños y el volumen de los residuos demasiado grande o con cargas orgánicas elevadas, éstos utilizarán el oxígeno disuelto en el proceso de estabilización y contaminarán o degradarán el agua mediante la reducción de los niveles de este elemento a cifras inferiores a las que requieren organismos acuáticos normales (Berkowitz, 2000).

Elevado consumo de agua:

En la industria de procesamiento de alimentos se emplean importantes cantidades de agua, es necesario seleccionar el sitio para las instalaciones de procesamiento de alimentos de tal modo que se disponga de suficiente agua con buena calidad. Aunque la disponibilidad de agua potable es esencial, la industria alimentaria también requiere grandes volúmenes de este elemento para diversos usos ajenos al consumo, como la limpieza inicial de las materias primas, el lavado, el escaldado, la pasteurización, la limpieza de los equipos productivos, transferencia de calor y la refrigeración del

producto terminado. Los usos del agua se determinan en función de criterios de calidad para las diferentes aplicaciones (Berkowitz, 2000).

Elevado consumo de energía:

Las necesidades energéticas han ido creciendo a medida que la industria alimentaria ha ido ganando en complejidad. Son muchos los equipos a los que ha de suministrarse energía: hornos a gas; secadoras; calderas de vapor; motores eléctricos; unidades de refrigeración, evaporadores y sistemas de calentamiento, ventilación y aire acondicionado.

El consumo de electricidad aporta un valor significativo de dióxidos de azufre, de nitrógeno, de carbono y otras emisiones al medio ambiente, los cuales tienen una contribución significativa al calentamiento global y la formación de lluvia ácida.

1.4 Evaluación de Impactos Ambientales.

La Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) surge como una herramienta preventiva, buscando la forma de evitar o minimizar los efectos ambientales producto de cualquier actividad humana, sobre el medio natural y sobre las personas. Su origen legal se remonta al 1 de enero de 1970, cuando los Estados Unidos promulgan la “Ley Nacional sobre Política Medioambiental”. En la década de los años 1970, con las primeras conferencias, reuniones y encuentros sobre medio ambiente (la primera cumbre sobre medio ambiente se realizó en Estocolmo en 1972), se reconoció como una necesidad impostergable la de incluir la variable ambiental como un factor que garantizara el desarrollo, puesto que se constataba un agravamiento de los problemas ambientales en todos los niveles (regional, nacional, local) del planeta. Es, por tanto, una de las herramientas de protección ambiental que al ser apoyada por una institucionalidad apropiada a las necesidades de los distintos países, contribuye a fortalecer el proceso de tomar decisiones a nivel de políticas, planes, programas y proyectos, incorporando nuevos factores y variables a considerar en el análisis global (Hernandez, 2000).

Actualmente, la evaluación de impacto ambiental se considera un proceso de análisis que anticipa tanto los impactos negativos como positivos de determinadas actividades, permitiendo seleccionar alternativas, de tal forma de idear mecanismos de control para prevenir / mitigar sus efectos adversos o no deseados y potenciar aquellos que serían beneficiosos.

La experiencia desarrollada en diferentes países permite su aplicación no tan solo para grandes proyectos de inversión, sino también para actividades de desarrollo que involucren planes y programas de ordenamiento territorial, políticas y alternativas de acción, y otras.

Entre las ventajas que presenta una Evaluación de Impacto Ambiental se encuentran:

- Proporciona flexibilidad para estudiar los efectos ambientales de una acción concreta en una determinada localidad y hace posible aplicar medidas correctivas ajustadas a una situación dada, optimizando el uso de los recursos usados. Lo anterior supone una mayor flexibilidad que la rígida aplicación de la legislación general en forma independiente de las particularidades de cada caso; por lo cual facilita una mayor adaptabilidad a las necesidades ambientales locales.
- Contribuye al uso eficiente de los recursos públicos y privados, puesto que se analizan las alternativas de acción que eviten o disminuyan impactos en el medio ambiente, reduciendo la necesidad de destinar recursos de acciones correctivas posteriores.
- Ayuda a la participación ciudadana y a la búsqueda de consenso, ya que mediante la incorporación del proceso de evaluación de impacto ambiental la comunidad se interioriza sobre los impactos, tanto ambientales como socioeconómicos y culturales, que una determinada acción tendrá, evitando los de carácter adverso sobre su entorno inmediato y evitando también conflictos posteriores.
- Contribuye a una coordinación adecuada, ya que al conocer los impactos ambientales de una acción, permite la interacción multidisciplinaria que requiere de una coordinación intersectorial para tratarlos desde una perspectiva global.

1.5 Métodos de Evaluación de Impactos Ambientales

Con el propósito de establecer los elementos metodológicos más adecuados para realizar la evaluación de los impactos ambientales, se presentan a continuación los métodos de mayor uso a nivel mundial.

- ✓ Método de Matriz de Leopold.
- ✓ Método Battelle-Columbus.
- ✓ Método Galletta.
- ✓ Método de Análisis de Ciclo de Vida.
- ✓ Método Emergético.

A continuación, se muestra un breve resumen de estos métodos:

Matriz de Leopold. La Matriz de Leopold es el primer método que se utilizó en evaluaciones de impacto ambiental, en 1971, por el Servicio Geológico de los Estados Unidos de Norteamérica, y a pesar de su antigüedad, con variaciones, es de los que más se utilizan en la actualidad. Se basa en una matriz donde en las columnas hay 100 acciones y en las filas 88 factores ambientales. Los cruces son posibles efectos ambientales o impactos. Las cuadrículas del cruce que presenten impactos significativos se dividen con una diagonal marcando en la parte superior la magnitud del impacto, valorada entre 0 y 10, y en la inferior la importancia, también en una escala de 0 a 10. Sumando por filas se obtiene el impacto producido sobre un determinado factor ambiental, y sumando por columnas el impacto producido por una cierta acción (Crespo & Garmendia Salvador, 2005).

Método Battelle-Columbus. Se desarrolló en los Laboratorios Battelle, de Columbus, Ohio (Estados Unidos de Norteamérica), en 1971, y proporciona un sistema de evaluar el impacto global de un proyecto. Fue uno de los primeros métodos que busco un valor agregado del impacto para cada alternativa. Para ponderar los factores se utilizó un Método Delphi y se definieron 78 parámetros clasificados en 18 componentes, agrupadas en 4 categorías. Entre ellos se repartieron mil unidades de importancia. Aunque no sean interesantes todos los parámetros para cualquier obra de cualquier país (uno de esos parámetros considera, por ejemplo, a los indios americanos), el método utilizado para ponderar los factores puede repetirse en otras circunstancias. Para medir la magnitud de cada parámetro utiliza unidades homogéneas, usando funciones de transformación, y con la suma ponderada de los factores se obtiene el impacto global de la obra (Crespo & Garmendia Salvador, 2005).

Método Galletta. Nació de la evaluación de carreteras y autopistas y se basa en el método de transparencias de Mc Harg. Se diseñó en Umbria, Italia, y propone un modelo general de evaluación de impactos ambientales. Un programa de computador calcula la calidad ambiental inicial del medio y la calidad con proyecto, representando gráficamente los resultados. Se consideran 14 factores ambientales que se ponderan de 0 a 100. Se divide el territorio en cuadrículas homogéneas formando una malla, y se valora en cada cuadrícula, cada uno de los 14 factores con una puntuación de 1 a 5, obteniéndose la calidad del medio. Posteriormente se calculan los impactos producidos por el proyecto y de esta forma se obtiene la calidad final con proyecto para cada

cuadrícula. Estos resultados se representan en mapas ambientales (Crespo & Garmendia Salvador, 2005)

Método de Análisis de Ciclo de Vida. Se concibió en la década de 1960 cuando la degradación ambiental y, en particular, el acceso limitado a los recursos comenzaron a ser una preocupación. Es un método que permite establecer estrategias de mejora para una empresa a la hora de tomar decisiones y planear actividades preventivas concretas en la industria. Se basa en una estructura sistémica enfocada a productos, en la cual se analizan todos los impactos ambientales producidos en todas las etapas y actividades que conforman, como sus palabras lo describen, un ciclo completo de vida. Es el estudio más utilizado para evaluar y comparar las cargas ambientales globales para una gama amplia de tecnologías (Rodríguez, 2014).

Método Emergético. Es un método empleado para evaluar las relaciones de un sistema con el medio ambiente y las actividades antrópicas. Cuenta con una base científica que contabiliza el valor ambiental y el valor económico, haciendo uso de la Economía, Teoría de Sistemas, Termodinámica, Biología y los nuevos principios del funcionamiento de sistemas abiertos. Este abordaje posibilita visualizar y cuantificar de forma dinámica los flujos de los recursos naturales, de los servicios ambientales provenientes de la naturaleza y de los impactos de las actividades antrópicas, permitiendo la comprensión de los límites en cada ecosistema o sistema productivo y el establecimiento de metas para garantizar la capacidad de soporte, es decir, determina la sustentabilidad de los sistemas (Valdés, López Bastida, & Alonso, 2019).

Los métodos de evaluación de impactos anteriormente explicados sirven para poner un valor a cada impacto y al impacto total de cada alternativa de un proyecto, de forma que se puedan comparar alternativas diferentes. Se selecciona el Método Emergético dada la posibilidad de cuantificar la variable del impacto ambiental y la labor humana en un sistema integrador, lo cual le ha permitido ganar popularidad en los últimos años. A continuación se explica detalladamente este método.

1.5 Análisis Emergético

1.5.1 Síntesis Emergética

La “Emergía” o “Memoria emergética” es la energía disponible que fue previamente utilizada directa e indirectamente para generar un servicio o producto. El análisis emergético, es la metodología de base científica que contabiliza el valor ambiental y el

valor económico, haciendo uso de la Economía, Teoría de Sistemas, Termodinámica, Biología y los nuevos principios del funcionamiento de sistemas abiertos (H T Odum, 1998). Este abordaje posibilita visualizar y cuantificar de forma dinámica los flujos de los recursos naturales, de los servicios ambientales provenientes de la naturaleza y de los impactos de las actividades antrópicas, permitiendo la comprensión de los límites en cada ecosistema o sistema productivo y el establecimiento de metas para garantizar la capacidad de soporte, es decir, determina la sustentabilidad de los sistemas (Aguilar, 2014).

La Síntesis Emergética supone un tipo especial de sistema de valoración energética basado en la Ecología de Sistemas. Se puede considerar un sistema de contabilidad y gestión ambiental. Es decir, va a tener la capacidad para estimar el valor de los distintos componentes del sistema (contabilidad) y, de acuerdo al propio método, va a definir unas condiciones de sostenibilidad, proporcionando una serie de índices para evaluar la misma y tomar decisiones.

Las unidades de valor emergético constituyen una medida de la eficiencia ya que relaciona las entradas a una salida. A menor transformidad o emergencia específica, más eficiente la conversión. De la segunda ley de la termodinámica se deriva que existe un valor mínimo de las unidades de valor emergético consistente con el principio de máximo poder. Ya que no existe una manera de calcularlos directamente, la menor transformidad encontrada en sistemas actuantes en largos períodos de tiempo es usada como aproximación. Para estimar el potencial teórico de algunos sistemas es apropiado usar la mejor (más pequeña) transformidad conocida (Raugei & Brown, 2015)

Este nuevo punto de vista, introducido por el ecólogo norteamericano Howard Odum, amplió las perspectivas de análisis de los sistemas. Esta ampliación se debe a que obtener la emergencia de un producto implica la contabilización de toda la energía que ha sido usada en su creación, de aquí que también se conozca como memoria energética (Crespo & Garmendia Salvador, 2005).

La Intensidad Emergética equivale al valor real del producto, o sea, toda la emergencia utilizada en la producción de una determinada cantidad del producto. Existen tres principales tipos de Intensidad Emergética: Transformidad (en seJ/J), Emergencia Específica (en seJ/g) e Emergencia por Unidad Monetaria (en seJ/\$). Cuanto mayor el número de transformaciones de energía necesarias para la elaboración de un producto o la ejecución de un proceso, mayor será el valor de su transformidad, siendo mayor

también la importancia del recurso para los ecosistemas y para los seres humanos (Lomas, Martin, & Rodríguez, 2007).

1.5.2 Etapas para la conducción de un análisis emergético.

Según Ulgiati & Brown(2004) una evaluación emergética consta de cinco etapas: definición de los límites de espacio y tiempo; representación gráfica; balances del sistema; cálculo de índices emergéticos y análisis de resultados. En la primera etapa, definición de los límites espacio-temporales del sistema, se enmarca la zona y el tiempo de estudio con el objetivo de cuantificar, con la mayor exactitud posible, las corrientes de entrada y salida del proceso. Una vez enmarcado este, se procede a la representación gráfica del sistema. Cada proceso de transformación se representa por una Figura geométrica, las cuales forman parte de la Simbología Emergética creada por H. T. Odum (1996). Con la representación de cada componente del sistema con un símbolo emergético se conforma un diagrama emergético, de modo que se pueda mostrar gráficamente las entradas que deberán ser evaluadas y sumadas para obtener la emergía total consumida por el sistema. El propósito de la representación gráfica del sistema es el de conducir un inventario de los procesos o corrientes que son importantes para el sistema bajo consideración y, por tanto, necesarios a evaluar (Caruso, Catenacci, Marchettini, Principi, & Tiezzi, 2001) . A efectos de simplificar la contabilidad, el modelo construido, se puede resumir de modo que capture las principales entradas y salidas al sistema, así como otros flujos que explican, en gran medida, el funcionamiento interno del mismo. Una vez conformados los diagramas emergéticos se procede a la construcción de la Tabla de contabilidad emergética a partir de los flujos de emergía identificados en los pasos anteriores, tal y como se presenta en la Tabla 1.1.

En la columna 1 se expresa el orden de las corrientes identificadas. En la columna 2 se indica el nombre de estas corrientes, con el cual también se identifican en el diagrama confeccionado para el sistema. Correspondiente a cada una de estas corrientes, en la columna 3 se muestra su contenido energético, másico o monetario en las condiciones del sistema; las unidades adecuadas (joule, gramos o pesos) de estos datos se especifican en la columna 4.

En la columna 5 se exponen las transformidades, expresadas en seJ/J. Multiplicando los valores correspondientes de la columna 3 y 5, se obtiene la emergía de cada corriente en la columna 6. En las últimas filas de la Tabla se especifica la emergía total del sistema,

la emergía por unidad de masa, transformidad del producto y el rendimiento del proceso referido a unidades m sicas y energéticas.

Tabla 1.1. Tabla de contabilidad emergética. **Fuente:** (Ugliati & Brown, 2004)

1	2	3	4	5	6
Note	Item	Data	Units	Emergy/Unit (sej/unit)	Solar Emergy (E+15 sej/yr)
1.	First item	xx.x	J/yr	xxx.x	xxx.x
2.	Second item	xx.x	g/yr	xxx.x	xxx.x
	⋮				
n.	nth item	xx.x	\$/yr	xxx.x	xxx.x

Después de construida la Tabla de contabilidad emergética se procede al cálculo de los índices emergéticos con el propósito de caracterizar de forma más precisa y valorable al sistema. Los índices emergéticos pueden estar referidos al impacto ambiental o social de proceso productivo, a la eficiencia en el uso de las diferentes fuentes energéticas y, principalmente, puede indicar la sostenibilidad del sistema. Se emplean generalmente a fin de comparar procesos bajo el control humano, cuando un camino sustentable no est  garantizado y la selección de uno u otro debe estar sustentada por minuciosas consideraciones y numerosos parámetros (Ugliati & Brown, 2004).

La interpretación de los resultados obtenidos es el último y más importante paso de la metodología, pues se define finalmente las condiciones del sistema analizado. Los resultados de la Tabla de contabilidad emergética y del cálculo de los índices emergéticos se emplean para poder valorar cualitativamente el sistema analizado. Estudios realizados en diferentes escenarios de todo el mundo o la lógica interpretación de las ecuaciones para su cálculo, han permitido una evaluación más exacta de cada sistema según los resultados numéricos obtenidos (Caruso, Catenacci, Marchettini, Principi, & Tiezzi, 2001).

1.5.3 Principales característica, críticas y aciertos de la metodología emergética

Las características principales del método emergético son:

- Carácter global e integrador. Análisis a distintas escalas es decir se realiza el análisis desde una escala más amplia a una más reducida.
- Se trata de uno de los pocos métodos de valoración que permite evaluar los sistemas económicos y naturales, así como las interacciones entre ambos con una metodología común.

- Maneja unidades estandarizadas. Considera distintos tipos de calidad energética. Emplea factores de estandarización (transformidades o “transformities”) para hacer equivalentes todos los flujos de energía dentro de una jerarquía de sistemas complejos.
- Es capaz de estimar los valores de distintos componentes (tanto económicos como naturales) del sistema en unidades energéticas y ligar éstos a unidades monetarias, para hacerlo más comprensible, en un marco de referencia común (contabilidad ambiental).
- El valor (y los indicadores del mismo) no parte del individuo (de sus preferencias y/o conocimientos) sino que es intrínseco al recurso (el valor de un recurso es proporcional a la energía necesaria en su producción, denominada Emergía (Memoria Energética)).
- Proporciona resultados cuantitativos sobre el estado de un sistema a través de diversos índices que permiten tomar decisiones con el objetivo de maximizar el bienestar público con las menores pérdidas ambientales posibles (gestión ambiental).
- Permite la modelización y la simulación, como poderosas herramientas de visualización de los flujos entre los sistemas socio-económicos y los ecológicos.
- Tiene un principio de optimización (Principio de maximización de la potencia emergética).

Pretende ser, por tanto, una teoría energética del valor (considerada objetiva y reproducible).

Las diferencias fundamentales con otros métodos energéticos estriban en la consideración de distintos tipos de calidad energética, un ámbito de estudio más amplio, abarcando la interacción de los sistemas socioeconómicos con los sistemas naturales o ecosistemas (la llamada ventana ambiental, que integra a los sistemas ecológicos y socioeconómicos) (Lomas, Martin, & Rodríguez, 2007).

Al igual que otras metodologías la emergía ha sido cuestionada. Las críticas han sido de manera general concernientes a que el método:

- (1) Carece de enlace con otras disciplinas.
- (2) Carece de adecuados detalles en los métodos subyacentes.
- (3) Es data y computacionalmente intensivo.
- (4) Se basa en generalizaciones que permanecen sin probar.

La economía moderna, que se concentra en el hombre y sus valores y no en el mundo biofísico, ha dudado sobre la habilidad de la teoría emergética para capturar el valor de

los productos para los humanos. Algunos argumentos comunes son que la emergía de un gal n de aceite de ballena no ha cambiado mientras su valor para los humanos s . Además, dos pinturas con emerg as similares pueden tener valores considerablemente diferentes, especialmente si una de ellas fue hecha por un renombrado pintor. Consecuentemente, todas las teorías termodinámicas del valor han sido rechazadas por los economistas a través de las décadas. Lo que más se critica sobre la evaluación emergética parece ser que adopta un valor ecocéntrico de los productos y procesos ecológicos e industriales. Esto está en contraste directo con la perspectiva economista, que es antropocéntrica

Ante las críticas de los economistas, los “emergistas” alegan que el análisis emergético difiere del análisis económico porque en vez de usar el valor monetario de los bienes y servicios utiliza una medida de la calidad de los recursos. No obstante, los practicantes de la metodología emergética han tratado de comunicar la importancia del enfoque del método convirtiendo la emergía en emd lares. Esta técnica ha sido recibida con mucho escepticismo por parte de los economistas que alegan que se introduce un doble conteo. Además, expresar la emergía en emd lares entra en conflicto con el argumento que el dinero es una medida incompleta del bienestar, lo que es usado para reafirmar las críticas. Sin embargo, esta conversión provee una medida para comunicar la importancia de los flujos emergéticos a los directores de políticas que basan sus decisiones en medidas monetarias (Aguilar & Espinosa, 2015)

A pesar de las críticas, el uso de la Metodología Emergética ha permitido:

- Investigar sistemas fuera de las actividades humanas.
- Incluir en la evaluación el trabajo humano y los servicios en bajo un marco común.
- Tener en cuenta la escala temporal o memoria de los servicios usados.
- Conocer el papel que los sistemas ecológicos tienen para el ser humano.
- Tener en cuenta la escala temporal o memoria de los servicios usados.
- Evaluar la renovabilidad de los servicios.
- Evaluar la calidad de los servicios de un modo cuantitativo.
- Implementar una evaluación ligada a la aportación ambiental en lugar de la clásica evaluación desde el punto de vista del usuario (Caruso, Catenacci, Marchettini, Principi, & Tiezzi, 2001).

Capítulo II

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

En este capítulo se analizan las características del objeto de estudio con el objetivo de conocer la empresa para la cual se realiza la investigación; se destaca la ubicación geográfica de la Empresa GydeMa Cienfuegos, descripción y particularidades del sistema tecnológico. Luego se describe el proceso de producción de almidón, los principales pasos empleados para conducir a la evaluación de la entidad y se va fundamentando el proceso de obtención de datos, el uso de símbolos y ecuaciones necesarios para desarrollar la metodología emergética.

2.1. Localización geográfica

La Empresa GydeMa Cienfuegos es única de su tipo en nuestro país, esta se encuentra localizada en la Zona Industrial # 2 del Reparto Pueblo Griffó, en la provincia de Cienfuegos, exactamente en la periferia noreste de la ciudad cabecera. 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, limitando al sur con el asentamiento poblacional de Pueblo Griffó.



Figura 2.1 Localización geográfica de la Empresa GydeMa. **Fuente.** (Google Maps)

2.1.2 Caracterización del objeto de estudio

La Empresa GydeMa Cienfuegos, fue fundada el 22 de diciembre de 1979, se subordina a la rama Confitera del Ministerio de la Industria Alimentaria (MINAL) y al

Grupo Empresarial LABIOFAM. Tiene como principal 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 posible, garantizando la plena satisfacción de los clientes.

Su objetivo social 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. Su misión es 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. Su visión es ser una empresa próspera, diversificada, líder en el mercado nacional y competitivo en el mercado internacional.

En su cartera de productos se encuentra una amplia gama de productos, comercializados con la marca GYDEMA, estas producciones son destinadas fundamentalmente como materia prima para la Industria de Alimentos, además sirve de soporte productivo a la Fábrica de Sorbitol de Camagüey, así como a las Fábricas de Confituras y Conservas del país. El Almidón producido es consumido principalmente, como alimento a la población, por lo que la producción de esta Empresa es netamente para el consumo nacional, existiendo dos líneas fundamentales que son las siguientes(GydeMa, 2016).

Producciones Fundamentales:

- Almidón de Maíz.
- Glucosa.
- Sirope de Glucosa por vía ácida.

- Sirope de Glucosa por vía enzimática.

También se elaboran otras producciones de forma alternativa en diferentes formatos, las cuales se relacionan a continuación:

- Natillas caseras.
- Almidón Saborizado.
- Desayuno de Chocolate.
- Polvo para panetela.
- Polvo para Arepas.
- Sirope para Refrescos.
- Polvo para Hornear.
- Alimento Animal.
- Concentrado de corteza de Mango.

Se cuenta además con la elaboración de subproductos generados del proceso productivo en la Planta de Almidón, como son germen y forraje, utilizándose en la elaboración del pienso como alimento animal, el gluten y el lodo residual que se vende en forma líquida para el consumo animal (Glucosa, 2016)

2.1.3 Características del esquema tecnológico:

El esquema tecnológico de la Empresa GydeMa se divide en un área administrativa, una planta de producción destinada al proceso obtención de almidón y glucosa, una planta de producción de mezcla seca, y una planta para la producción de pienso y una planta destinada a los residuales de todos los procesos. Las interconexiones entre cada proceso de producción se observan en el siguiente diagrama de la Figura 2.2.

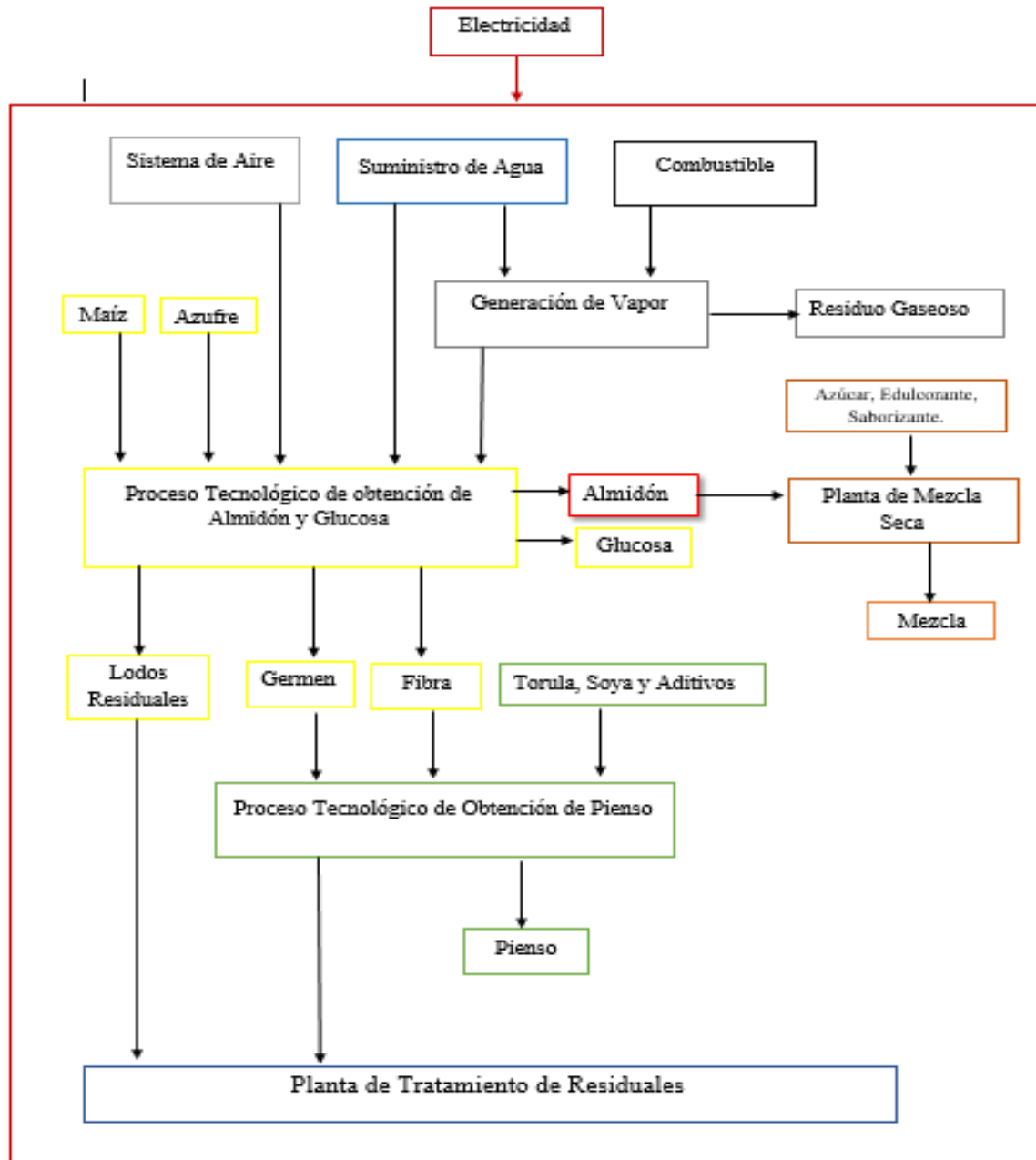


Figura 2.2 Diagrama de bloque de los procesos tecnológicos de la Empresa GydeMa Cienfuegos. **Fuente:** Elaboración Propia.

2.1.4 Descripción del Proceso de Producción de Almidón en la Empresa GydeMa Cienfuegos.

El maíz llega a la fábrica por medio de camiones los cuales descargan el maíz en el embudo o pipa de relleno (capacidad del embudo 40 t). Mediante un sistema de transportadores horizontales y verticales el maíz es elevado y descargado en el silo que no está diseñado para almacenar el maíz por un gran espacio de tiempo, su objetivo es compensar fluctuaciones de los camiones. La limpieza comienza cuando el maíz es

transportado de los silos al tamiz vibratorio donde se separan principalmente pajas, pedazos de mazorca, piedras, etc. El tamiz esta combinado con un aspirador el cual retira arena y polvo. Este equipo también separa granos muertos, granos con desperfectos y partículas de menor tamaño que el maíz. Posteriormente el maíz pasa a un tamiz rotatorio donde se realiza una clasificación de control removiendo, granos con desperfectos, piedras y otros materiales. El polvo se envía a un filtro de manga para posteriormente ser usado en la elaboración de pienso al igual que los granos defectuosos. Después el maíz se envía a una balanza (100kg capacidad) donde se pesa para después ser elevado (mediante un transportador de cangilones o de cubo) hasta un distribuidor de cadena, el cual distribuye el maíz a los tanques de remojo.

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 con agua sulfurosa a una concentración aproximada de 1500 a 2000 ppm la cual se calienta de 50 a 53 °C aproximadamente 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. En esta sección existen 10 tanques de maceración con un volumen de 45m³(aproximadamente 30t) los cuales tienen recirculación propia (de agua) y entre ellos mismos. El agua se alimenta continuamente al tanque que contiene el maíz más viejo (o el de mayor tiempo en esta área) se bombea a través de todos los tanques y se extrae por el tanque donde se encuentra el grano más nuevo. La alimentación y extracción de agua de remojo cambia a nuevos tanques cíclicamente en la medida que los tanques cumplen el ciclo de remojo, esta operación varía entre 40 y 60 h en dependencia del tipo de maíz. Es importante tener en cuenta que primeramente se alimentará el grano a los tanques y después el agua para evitar una explosión de los mismos. Cuando un tanque se esté vaciando de agua, no habrá recirculación a este tanque ni entrada de agua a la sección. 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.

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. 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) 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. 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 en un equipo compuesto de una serie de tornillos sin fin dentro de cilindros de malla, aquí se separa la fibra gruesa y se envía la solución al lavado de fibra fina 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 recepciona en el tanque de almidón crudo.

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. El refinado consiste en terminar de separar el almidón de la proteína, para esto se pasa la lechada por una serie de centrífugas (1er, 2do y 3er refino). En esta sección se lava el almidón con agua a contracorriente y en el 3er refino se envía esta agua a una centrífuga denominada concentrador de middlings (principalmente proteínas y granos de almidón), aquí se separa el agua de la lechada esta última se envía al tanque de almidón crudo y el agua se reincorpora al proceso. En el 3er refino se recircula lechada al separador primario y el almidón ya refinado se envía a tanques de almacenamientos (Refino, Misceláneo y Gluten) para posteriormente ser secado para la Producción de Almidón (Maicena) o para el Tanque 1140 y 1150 con determinadas características de Calidad para la Producción de Glucosa Ácida o Enzimática. 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 mediante un tornillo dosificador a la próxima área. (Capacidad máxima del desagüe 1260kg de almidón seco/h). 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 desagado, 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. El almidón proveniente del tamiz se almacena temporalmente para después empaquetarlo en sacos de 20 kg aproximadamente (GydeMa, 2016).

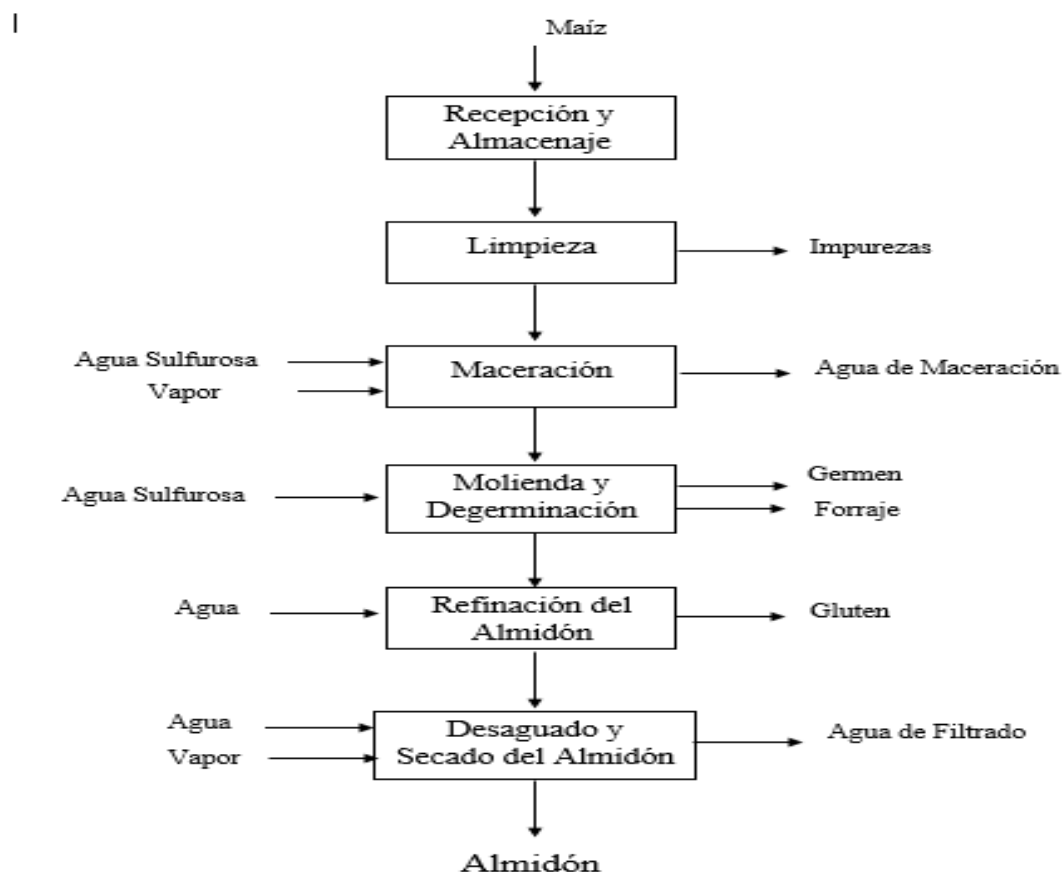


Figura 2.3 Diagrama de Bloque del proceso de obtención de Almidón. **Fuente:** Elaboración Propia.

2.2 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

La metodología aplicada para esta investigación se compone de tres etapas principales: estudios documentales; aplicar metodología emergética y recomendar alternativas en caso que los resultados no fuesen satisfactorios. La metodología emergética es una metodología ecológico-termodinámica de valoración ambiental planteada por Brown & Ulgiati (2004), quien sigue las bases explicadas en detalle por H. Odum (1996) y que de manera general consiste en: definición de los límites espacio-temporales, representación gráfica del proceso, balance del sistema, cálculo de índices emergéticos y análisis de los resultados. A continuación se muestra, a través de un diagrama, las etapas que enmarca la metodología aplicada para la investigación.

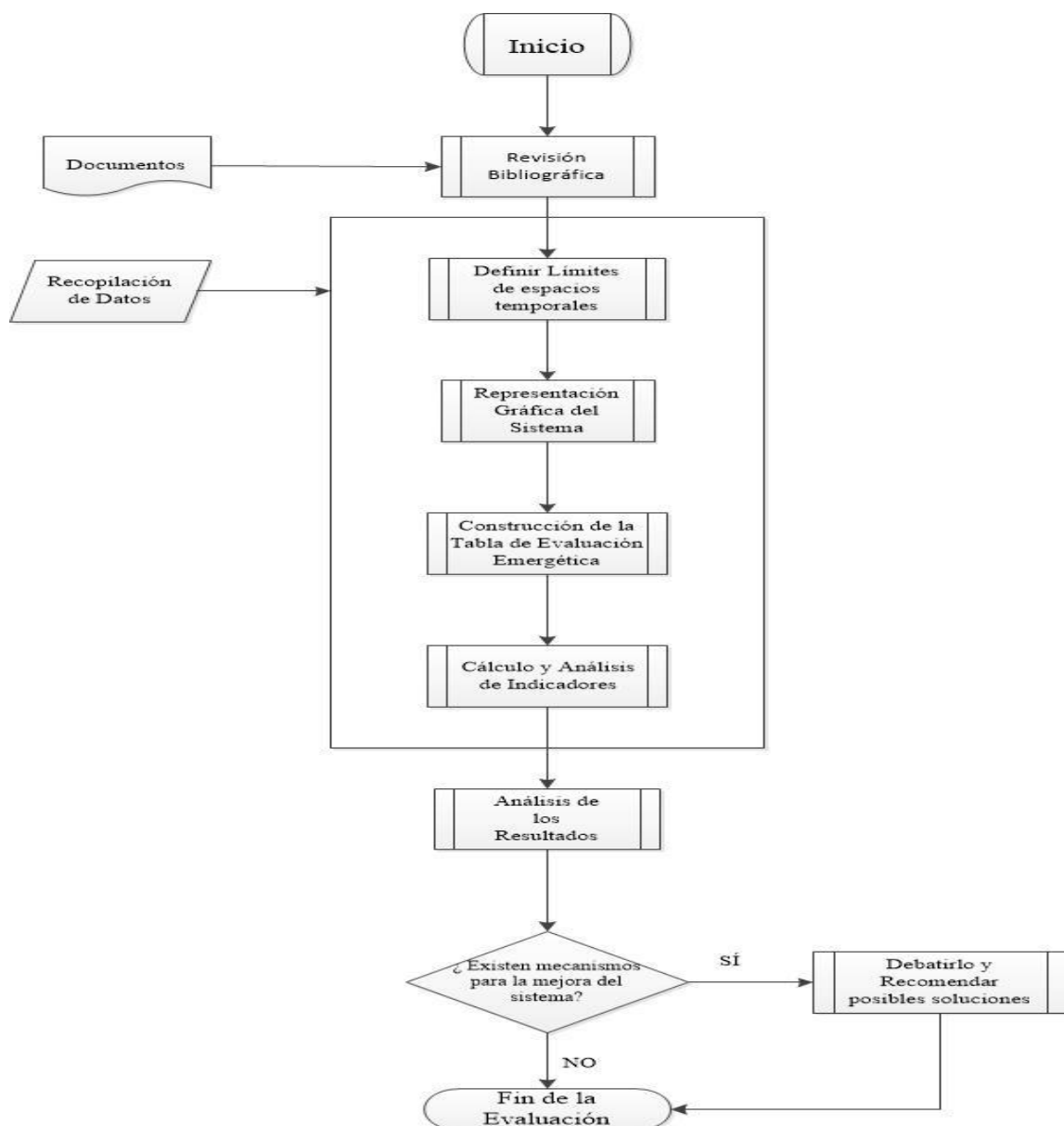


Figura 2.4 Metodología aplicada para la investigación.**Fuente:**Elaboración propia.

2.2.1 Metodología emergética.

El método emergético es una metodología con base ecológica y termodinámica, que permite incluir los flujos de materia y energía procedentes dentro de la valoración de los costes ecológicos de la economía, complementando la escala de acción de otras metodologías tradicionalmente usadas con este objetivo, en un contexto multi-criterio de evaluación del uso del capital natural. Para que la síntesis emergética llegue a tener un papel dentro en la resolución de los problemas ligados a las relaciones ser humano-naturaleza, debe explotar estas propiedades dentro de este contexto multi-criterio.

El punto de partida del análisis emergético como un nuevo campo de estudio es que precisamente se pueden analizar los diferentes tipos de energía utilizando estos factores de conversión. Para la realización de una evaluación emergética se sigue un procedimiento de cuatro etapas: (1) definición espacio-temporal del sistema de estudio, (2) modelación del sistema usando la simbología emergética, (3) balance energético del sistema y (4) cálculo y análisis de indicadores emergéticos. En la primera etapa se establece la región espacial y el tiempo determinado para el objeto a evaluar lo que determina los flujos materiales y/o energéticos que atraviesan el sistema. El no establecer adecuadamente estas variables conduce a errores en la interpretación de cualquier resultado debido a los errores en cuantificación de insumos que consume el sistema y productos que proporciona.

En la segunda etapa se representa a través de la simbología emergética las interrelaciones y dinámica de los flujos materiales y/o energéticos de los procesos que componen el sistema. La simbología es similar a otros sistemas de modelación, con analogías a lenguajes de programación lo que permite aprovechar las similitudes de los objetos de estudio, logrando una representación más estandarizada y comprensible de los mismos. De esta manera según Odum (1996), al conectar diferentes tipos de energía se pueden asociar varias partes y visualizar la complejidad de una manera sencilla. En el balance del sistema se contabilizan los flujos de materiales y energía para el período de tiempo investigado y se transforman a flujos emergéticos a partir de las UEV de estos. Para facilitar este proceso usualmente se construye una tabla en la que se resumen los principales insumos y productos del sistema. En esta etapa, herramientas como el análisis de flujo de materiales y/o la simulación son de especial relevancia a la vez que

evitar el doble conteo y mantienen la relación de conservación de la energía y/o masa (Lomas, Martin, & Rodríguez, 2007).

2.2.2 Definición de los límites espacio-temporales.

En esta etapa se delimita la zona y el tiempo sometido a análisis. En este sentido, se enmarca espacialmente al sistema objeto de estudio. Los sistemas termodinámicos son definidos como cualquier región espacial dentro de un límite prescrito seleccionado para su estudio. A su vez, el estudio debe ser establecido para un tiempo determinado puesto que este es un factor que define los flujos que atraviesan el sistema. Entonces, en esta etapa lo que se precisa es cuál es el objeto de análisis y durante qué período de tiempo se realizará la valoración. El no establecer adecuadamente estas variables puede llevar a la incertidumbre cualquier resultado debido a los errores en cuantificación de insumos que consume el sistema y productos que proporciona todos los elementos del sistema que regulan los procesos que constituyen el funcionamiento del mismo. Se colocan bajo el mismo criterio que en el anterior punto.

- a) Se incluyen los flujos de dinero correspondiente al uso económico que puedan tener algunos flujos del sistema, así como las entradas de dinero que mueven algunos de los componentes socio-económicos del mismo.
- b) Se incluye la degradación correspondiente a la segunda ley de la termodinámica.
- c) Se simplifica el diagrama según los objetivos del estudio mediante una agregación de categorías al nivel de detalle que se quiera llevar a cabo.

Los principales símbolos utilizados fueron los correspondientes a: *system boundary* (límite del sistema), *sources* (fuentes), *pathway lines* (flujos), *box* (proceso de producción de Almidón), *tank* (almacenamiento de agua, productos químicos, combustible, aceites y lubricantes), y el *heat drain* (degradación energética) y *transaction* (pago por servicios).

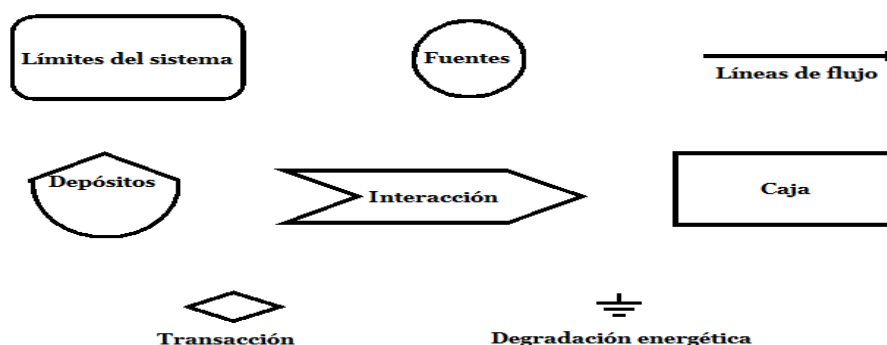


Figura 2.5. Símbolos usados en este trabajo. **Fuente.** Elaboración propia.

2.3 Construcción de la Tabla Emergética:

Luego de contabilizar los flujos de materiales y energía para el período de tiempo investigado y se transforman a flujos emergéticos a partir de las UEV de estos, se construye la Tabla Emergética. Un ejemplo típico de una Tabla Emergética se muestra a continuación:

Nota	Item	Dato	Unidad	Transformicidad (seJ/unidad)	Energía solar (seJ/año)	Valor macroeconómico (em\$/año)
1	Item1	xx.x	J/año	xxx.x	Em ₁	Em ₁ /EMR
2	Item2	xx.x	g/año	xxx.x	Em ₂	Em ₂ /EMR
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
n.	Ene-ésimo Item	xx.x	J/año	xxx.x	Em _n	Em _n /EMR
Y	Y-ésimo Producto	xx.x	J ó g/año	$\frac{\sum_n Em_i}{xx.x}$	$\sum_n Em_i$	$EMR = \frac{\sum_n Em_i}{PIB}$

Tabla 2.1. Ejemplo de tabla emergética. **Fuente:** (Lomas, 2009).

Luego, aunque el sistema tenga características distintivas a razón a flujos emergéticos, las entradas del proceso podrán ser agrupadas como recursos renovables (R), recursos no renovables (N) y procedentes de la economía, adquiridas como bienes o servicios comprados (F). A partir de esta clasificación se calculan indicadores emergéticos que permiten caracterizar los sistemas y al compararlos determinar cuáles son más eficientes en el aprovechamiento de los recursos, siempre dentro de los criterios y limitaciones del método. El factor significativo de estos es que consideran no solo los recursos naturales de los ecosistemas sino también la labor humana y la retroalimentación de la economía. Las ecuaciones utilizadas son las siguientes:

$$R = \sum_{i=1}^n \text{Recursos Renovables (Ecuación 2.1)}$$

$$N = \sum_{i=1}^n \text{Recursos No Renovables (Ecuación 2.2)}$$

$$M = \sum_{i=1}^n \text{Materiales de la Economía (Ecuación 2.3)}$$

$$S = \sum_{i=1}^n \text{Servicios de la Economía (Ecuación 2.4)}$$

$$F = M + S \text{ (Ecuación 2.5)}$$

$$Y = I + F \text{ (Ecuación 2.6)}$$

El aire atmosférico tiene una composición volumétrica de 20,99 % de oxígeno, 78,03 % de nitrógeno, poco menos de 1 % de argón y pequeñas cantidades de varios gases inertes, como vapor de agua, dióxido de carbono, helio e hidrógeno. Para cálculos de ingeniería es por lo general suficientemente exacto incluir todos los gases inertes en el nitrógeno y usar en el análisis 21 % de oxígeno y 79 % de nitrógeno. Así pues, en 100 kmoles de aire hay aproximadamente 21 kmoles de O₂ y 79 kmoles de N₂, o sea la relación molar entre el nitrógeno y el oxígeno en el aire es 3,76 kmol N₂/ kmol O₂. La composición gravimétrica del aire es 23,1 % de O₂, 76,9 % N₂, en peso, es decir que hay 3,32 kg N₂/kg O₂ (Moring, 2006).

Entonces para determinar la cantidad de aire consumida en el proceso para quemar el octazufre (S₈) se consideró una combustión completa y se efectuó un análisis masa-masa de acuerdo a la ecuación $S_8 + 8O_2 \rightarrow 8SO_2$. Conociendo que cada kg de O₂ consumido es equivalente a 4,32 kg de aire por lo expresado anteriormente, se pudo determinar el aire necesario para la combustión multiplicando la cantidad de oxígeno calculada por este factor.

Como no se encontró en la literatura consultada unidades de valor emergético para el aire referidos a la masa, se calculó su contenido emergético para una temperatura de 300 K. Para esa temperatura su capacidad calorífica (C_p) es 1,007 kJ/kg (Bergman & Lavine, 2017), por lo que el del flujo de aire que entra al proceso se calculó según la ecuación 2.7.

$$\text{Aire} \left(\frac{J}{\text{año}} \right) = \text{Aire} \left(\frac{kg}{\text{año}} \right) \times C_p \left(\frac{kJ}{kg \times K} \right) \times T(K) \times \frac{1000 J}{1 kJ} \quad (\text{Ecuación 2.7})$$

La labor humana en el año fue estimada por los datos del departamento de economía. A partir de que los obreros de la fábrica trabajaron 609 884 horas al año, en un promedio de 8 horas al día, que una persona consume 2 500 kcal de energía metabolizada/día se calculó la labor humana mediante la ecuación 2.8.

$$Labor \left(\frac{J}{año} \right) = \left(\frac{obrer\acute{o}s\ h}{año} / 8 \frac{obrer\acute{o}s\ h}{día} \right) * 2500 \frac{kcal}{día} * 4186 \frac{J}{kcal} \text{ (Ecuación 2.8)}$$

2.3.1 Cálculo y análisis de los indicadores emergéticos

Como ha sido establecido anteriormente el análisis emergético clasifica las entradas a un sistema en recursos renovables (R), no renovables (N) e importados de la economía (F). Esto establece una relación funcional de la emergía con la energía, el medio ambiente y la economía. Esto permite el cálculo de una serie de índices que nos brinda información sobre diversas características del sistema, permite establecer comparaciones entre varios escenarios para el manejo del mismo, así como la comparación entre diversos sistemas. Por tanto, sirven de apoyo para la gestión y evaluación de la sostenibilidad dentro de los criterios. En la Tabla 2 se muestran las fórmulas para su cálculo y una breve descripción de su interpretación.

Indicador	Fórmula	Unidades	Interpretación
Emergía de fuentes renovables	R	seJ/año	Entrada de emergía de fuentes renovables
Emergía de fuentes no renovables	N	seJ/año	Entrada de emergía de fuentes no renovables
Emergía importada de la economía	F	seJ/año	Entrada de emergía desde fuentes externas (usualmente con un intercambio monetario)
Emergía usada por el sistema	Y=R+N+F	seJ/año	Costo emergético del sistema

Transformidad (Transformity; Tr)	Y/E	seJ/J	Relación entre la energía total que ingresa en el sistema (Y) y la energía de los productos que salen (E). Expresa la cantidad de energía con calidad equivalente a la solar necesaria para generar 1 J del producto.
Razón de renovabilidad (Renewability Ratio; % R)	R/Y	-	Fracción de la energía renovable respecto a la energía total consumida
Razón de eficiencia energética (Emergy Yield Ratio; EYR)	(R+N+F)/F	-	Medida de la ganancia de energía primaria del sistema debido a la explotación de los recursos locales
Razón de carga ambiental (Environmental Loading Ratio; ELR)	(N+F)/R	-	Medida de la perturbación medioambiental generada por el sistema
Índice de sostenibilidad energética (Environmental Sustainability Index; ESI)	EYR/ELR	-	Medida de la potencial contribución del sistema por unidad de carga impuesta al sistema local

Tabla 2.2. Indicadores Emergéticos y algunas de sus características. **Fuente:** (Valdés López & López Bastida, 2019)

Los indicadores usados en este trabajo y la manera de calcularlos e interpretarlos aparecen explicados a continuación:

Transformidad y emergía específica.

La transformidad (Tr) es la relación que existe entre la emergía total que entra en el sistema (Y) y la energía de los productos que salen (Ep), su unidad es en seJ/J. Cuando se comparan dos alternativas, una baja transformidad indica una alta eficiencia en el proceso, pues se requiere menor cantidad de emergía para generar el producto (Aguilar & Espinosa, 2015). En la ecuación 2.9 se muestra su cálculo.

$$Tr = \frac{Y}{Ep} \text{ (Ecuación 2.9)}$$

Razón de renovabilidad (% R)

La razón de renovabilidad representa la fracción de los recursos renovables (R) respecto a la emergía total consumida por el sistema (Y). Mientras mayor sea este indicador más sustentable es el sistema a largo plazo puesto que depende en menor medida de los recursos no renovables e importados de la economía. Su cálculo se muestra a continuación en la ecuación 2.10.

$$\%R = \left(\frac{R}{Y} \right) * 100 \text{ (Ecuación 2.10)}$$

Razón de eficiencia emergética (EYR)

La razón de eficiencia emergética es una medida de la habilidad del proceso para explotar y hacer disponible los recursos naturales por la inversión externa. El valor menor posible del EYR es 1, que indica que un proceso entrega la misma cantidad de emergía que fue provista para su operación por lo que no fue capaz de explotar recursos naturales. Por tanto, cuando EYR=1 o ligeramente superior no retroalimentan a la economía significativamente en términos emergéticos y solo transforman recursos que estaban disponibles de procesos previos (Raugei & Brown, 2015). La ecuación 2.11 muestra la manera de calcular este índice.

$$EYR = \frac{R + N + F}{F} \text{ (Ecuación 2.11)}$$

Bajos valores de EYR indican un bajo beneficio económico y una competencia de mercado débil; por el contrario, altos valores de EYR indican la fuerte competencia que tiene el producto desarrollado y un alto beneficio económico. $EYR < 5$ indica que en el proceso se utilizó una gran cantidad de recursos energéticos secundarios; $EYR > 5$ indica la utilización de recursos energéticos primarios. $EYR < 2$ indica que no hay contribución significativa de recursos locales y están asociados a procesos casi completamente manufacturados. Cuanto más alto es el índice de producción energético, más energía está proporcionando un proceso al sistema frente a la que retira (Gálvez, 2016).

Razón de carga ambiental (ELR)

La razón de carga ambiental compara la cantidad de recursos energéticos no renovables y adquiridos de la economía (N+F) con la cantidad de recursos renovables (R). Mientras mayor sea este índice mayor será la distancia del desarrollo de los procesos naturales que pueden ser logrados localmente. El ELR claramente establece una diferencia entre recursos renovables y no renovables así que complementa la información provista por la transformidad (Ugliati & Brown, 2004). Para su cálculo se utiliza la ecuación 2.10

$$ELR = \frac{N+F}{R} \text{ (Ecuación 2.12)}$$

Los valores bajos de ELR indican que los procesos tienen un bajo impacto ambiental o cuentan con un área muy grande para diluir el impacto ambiental. Cuando el $ELR > 10$ hay una alta carga ambiental y cuando el $3 < ELR < 10$ el impacto es considerado moderado. (Gálvez, 2016).

Índice de sostenibilidad energética (ESI)

Si el ELR y el EYR se combinan se crea un índice de sostenibilidad siendo una medida de la potencial contribución del sistema (EYR) por unidad de carga impuesta al sistema local (ELR). Este indicador es útil para medir la apertura y los cambios de carga ocurridos a través del tiempo en procesos tecnológicos y economías (M. Brown, T & Ugliati, S, 2004). Este índice se determina usando la ecuación 2.11.

$$ESI = \frac{EYR}{ELR} \text{ (Ecuación 2.13)}$$

Como se describe en la ecuación este índice expresa la capacidad de un sistema de proveer productos o servicios con un mínimo estrés medioambiental y un máximo

beneficio económico. Cuando el $ESI < 1$ el proceso no es sustentable a largo plazo y cuando $1 < ESI < 5$ se contribuye moderadamente a la economía. Un $ESI > 5$ indica que el proceso puede ser considerado sostenible a largo plazo, sin embargo es incorrecto pensar que mientras mayor sea este indicador mayor su sostenibilidad dado que cuando el $ESI > 10$ se considera como subdesarrollado el proceso (Lomas, Martin, & Rodríguez, 2007)

En la Tabla 2.3 se resumen los indicadores previamente explicados y su interpretación respecto a la sostenibilidad del proceso. Hay que destacar que, aunque existen rangos para cada indicador en aras de describir el sistema, es recomendable realizar el análisis conjunto de la información proporcionada por estos.

Transformidad (Tr) y emergencia específica (Em)	Mientras menor sea la transformidad o la emergencia específica menos invierte el sistema para producir los productos y más sostenible
Razón de renovabilidad (%R)	A largo plazo solo sistemas con un alto valor son sostenibles
Razón de eficiencia energética (EYR)	Es deseable que posea un valor alto ($EYR > 2$) pero de ser muy elevado puede significar una explotación excesiva de recursos naturales
Razón de carga ambiental (ELR)	Valores bajos indican que los procesos tienen un bajo impacto ambiental
Índice de sostenibilidad energética (ESI)	Cuando $1 < ESI < 5$ se contribuye moderadamente a la economía y un $ESI > 5$ indica que el proceso puede ser considerado sostenible a largo plazo aunque cuando el $ESI > 10$ se considera el proceso como subdesarrollado

Tabla 2.3. Interpretación respecto a la sostenibilidad de los indicadores analizados.

Fuente: (Valdés, López Bastida, & Alonso, 2019).

Capítulo III

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En este capítulo se presentan los resultados alcanzados con la aplicación de la metodología conformada en el capítulo anterior. En primera instancia se delimita el sistema con respecto al espacio y tiempo dedicado al estudio. Posteriormente se representa gráficamente el proceso a través del diagrama emergético. Seguidamente, se exponen los principales resultados de la contabilización emergética del proceso y del cálculo de índices. Ambas cuantificaciones permiten valorar cualitativamente las condiciones actuales del sistema analizado. Los principales problemas detectados en los pasos anteriores de la metodología condujeron a la formulación de posibles recomendaciones para su solución.

3.1 Límites espacio-temporales del estudio

La investigación se limitó espacialmente a la producción de Almidón. El sistema objeto de estudio fue la Empresa GydeMa Cienfuegos, constituido principalmente por el proceso de producción de Almidón. Se evaluó la producción de almidón durante el año 2019 dada la actualidad que le aporta a la investigación y se utilizaron valores promedio de las corrientes. Dichos datos fueron proporcionados en su mayoría por los departamentos de la empresa.

Una vez limitados los términos de espacio y tiempo, se identificaron las corrientes entrantes y salientes del sistema enmarcado. De modo que se tuvieron como flujos de entrada: maíz molido, azufre, agua, combustible, materiales para el proceso, aire, labor humana y servicios adquiridos de la economía. Obteniéndose en la corriente de salida: almidón, fibra, germen, electricidad y lodos residuales.

3.2 Modelación del sistema

Para la modelación se clasificaron las principales corrientes de entradas al sistema en recursos renovables [R], recursos no renovables [N], materiales de la economía [M] y servicios [S]. En la Tabla 3.1 se muestran los flujos de estas corrientes y su correspondiente clasificación.

Tabla 3.1 Clasificación de los principales *inputs* del sistema **Fuente** Elaboración Propia.

Nombre	Flujo	Unidades/año	Flujo Convertido	Unidades/año	Clasificación
Aire	6679731.8	kg	2,02E+20	J	R
Agua	198 819.6	m ³	1,98E+16	g	R/M
Maíz Molido	4557.39	t	4051013333	g	R/M
Fuel Oil	651.51	t	651510000	g	M
Detergente	24	kg	24000	g	M
Hipoclorito de Sodio	122	kg	122000	g	M
Ácido Clorhídrico	60	kg	60000	g	M
Hidróxido de Sodio	45	kg	45000	g	M
Azufre	12 395	t	12395000000	g	M
Electricidad	9239.96	kW/h	2.566.655.556	J	S
Servicios	1.465.883.172	\$	1.465.883.172	\$	S
Labor Humana	7.98E+11	J	7.98E+11	J	S

Los valores de la columna 2 de los flujos presentados en la Tabla 3.1 se corresponden con los valores recopilados en los inventarios de la empresa, pero para su utilización en la metodología energética fue necesario realizar un análisis dimensional para que las ecuaciones mantuviesen su coherencia. En la columna 4 de la tabla se muestran los flujos una vez convertidos y listos para incluir en la Tabla energética.

Tabla 3.2 Unidades de Valor Emergético para cada Insumo. **Fuente:** Elaboración Propia.

UNIDADES DE VALOR EMERGÉTICO (UEV)

Flujos	Clasificación	UEV	Unidades	Fuente Bibliográfica
Aire	R	9,82E+02	seJ/J	(Odum, 2000)
Maíz	1/8 R	2,49 E9	seJ/g	(Odum & Brandt-William, 2000)
Maíz	2/9 N	2,49 E9	seJ/g	(Odum & Brandt-William, 2000)
Maíz	2/3 F	2,49 E9	seJ/g	(Odum & Brandt-William, 2000)
Agua	2/5 R	6,85+05 *(1.68)	seJ/g	(Buenfil, 2001)
Agua	3/5 F	6,85+05 *(1.68)	seJ/g	(Buenfil, 2001)
Fuel Oil	F	2.83E+09	seJ/g	(Campbell, Bastianoni, & Ridolfi, 2009)
Electricidad	F	7,94E+05	seJ/J	(Perenzuela, 2019)
Labor Humana	F	3,93E+06	seJ/J	(Giannetti et al., 2016)

Flujos Monetarios	F	4,60E+12	seJ/\$	(Sweeney et al., 2007)
Grasas, aceites y lubricantes	F	4,60E+12	seJ/\$	(Brown y Ulgiati, 2002)
Productos Químicos	F	3,80E+08	seJ/g	(Brown y Ulgiati, 2002)

El valor de UEV del agua es de $6,85 \times 10^5$ seJ/g. Este valor fue asumido considerando que el agua que llega a la empresa es apta para consumo (potable). Para su uso se multiplica por 1.68 debido al concepto de cambio de base energética como se explica en (Odum & Brandt-William, 2000).

En el caso específico del azufre, a pesar de ser un insumo principal y considerarse un recurso no renovable, fue necesario tomarlo como un material de la economía e incluirlo en los Productos Químicos. Esta decisión está basada en que no se encontró en la literatura ninguna Unidad de Valor Emergético correspondiente a esta sustancia. Por tanto la UEV para el azufre se tomó como $3,80 \times 10^8$ seJ/g. Para las Grasas y los Lubricantes la empresa no cuenta con una correcta contabilidad, y no fue posible encontrar en la literatura el valor de cada una de las densidades correspondientes, por tanto, fue necesario utilizar las Grasas y Lubricantes como un flujo monetario, pues sí se contaba con el importe total de ellos. Lo anterior constituye algunas limitantes del estudio.

A partir de esta información y las características del esquema tecnológico se construyó el diagrama emergético como se observa en la Figura 3.1.

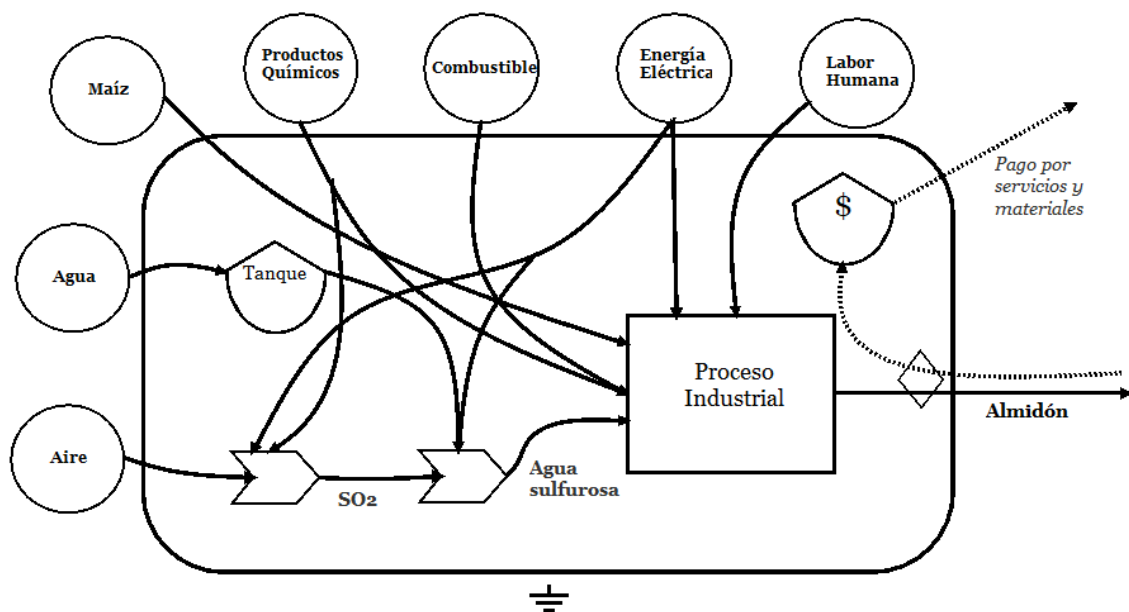


Figura 3.1 Diagrama Emergético del proceso. **Fuente:** Elaboración Propia.

3.3 Construcción de la Tabla Emergética.

Para la construcción de la tabla emergética fue necesario conocer y determinar el flujo de cada corriente de entrada al proceso, así como su unidad de valor emergética UEV correspondiente. Con la ayuda del programa Microsoft Excel ambos valores fueron multiplicados, dejando como resultado la emergía que cada insumo representa para el proceso. Los resultados se reflejan en la Tabla 3.3 que se muestra a continuación.

Tabla 3.3 Construcción de la Tabla Emergética. **Fuente.** Elaboración Propia.

No	Insumo	Flujo	Unidad	UEV	Unidad	Energía	Unidad
Recursos Renovables de la Naturaleza R							
1	Aire	2.01795E+15	J/año	9.82E+02	seJ/J	1.98E+18	seJ/año
2	Maiz	569673750	g/año	2.49E+09	seJ/g	1.42E+18	seJ/año
3	Agua	79289256480	g/año	6.85E+05	seJ/g	9.12E+16	seJ/año
Recursos No Renovables de la Naturaleza N							
4	Maiz	1012753333	g/año	2.49E+09	seJ/g	2.52E+18	seJ/año
Materiales de la Economía M							
5	Fuel Oil	651510000	g/año	2.83E+09	seJ/g	1.84E+18	seJ/año
6	Productos Químicos	12395251000	g/año	3.80E+08	seJ/g	4.71E+18	seJ/año
8	Agua	1.18934E+11	g/año	6.85E+05	seJ/g	8.15E+16	seJ/año
7	Energía Eléctrica	2566.655556	J/año	7.94E+05	seJ/J	2.04E+09	seJ/año
9	Maiz	3038260000	g/año	2.49E+09	seJ/g	7.57E+18	seJ/año
Servicios de la Economía S							
10	Flujos Monetarios	146588.3172	\$/año	4.60E+12	seJ/\$	6.74E+17	seJ/año
11	Labor Humana	7.97805E+11	J/año	3.93E+06	seJ/J	3.14E+18	seJ/año

En la Tabla 3.4 se muestra el total de los flujos emergéticos una vez clasificados en recursos renovables (R), no renovables (N) e importados de la economía (F) mientras que en la Figura 3.2 se expresa su relación porcentual.

Tabla 3.4 Emergía involucrada en el proceso. **Fuente:** Elaboración Propia

Emergía de Recursos Renovables (R)	3.49E+18 seJ/año
Emergía de Recursos No Renovables (N)	2.52E+18 seJ/año
Emergía Importada de la Economía (F)=(M+S)	1.74E+19 seJ/año
Emergía Total (Y)	2.34E+19 seJ/año

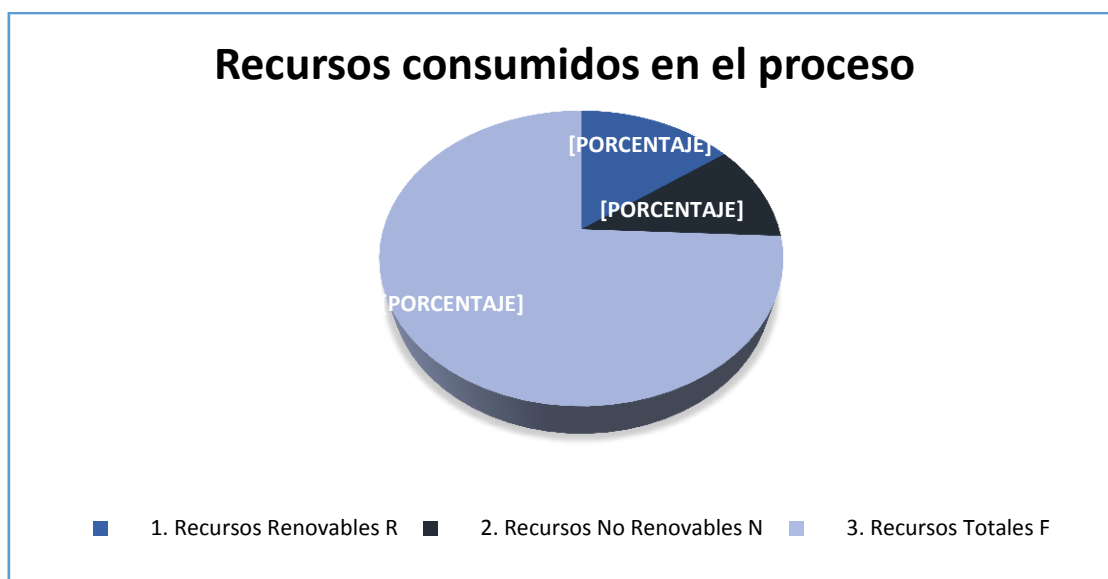
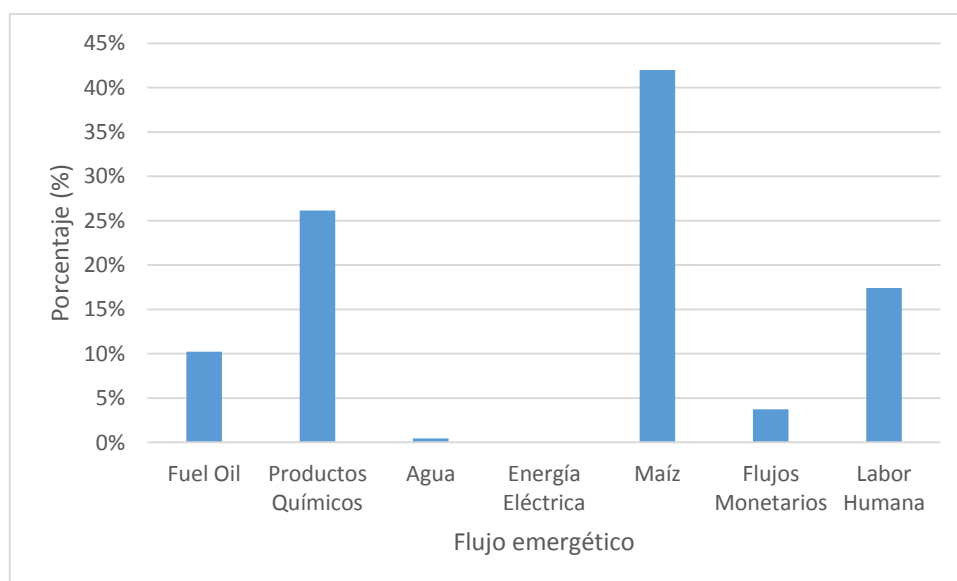


Figura 3.2 Representación de los Recursos consumidos en el proceso de Almidón de Maíz. **Fuente:** Elaboración Propia.

Como se puede observar en la Figura 3.2, el mayor porcentaje de recursos que utiliza la Empresa es Importado de la Economía por lo que según el principio de Pareto (que describe el fenómeno estadístico por el que en cualquier población que contribuye a un efecto común, es una proporción pequeña la que contribuye a la mayor parte del efecto) las principales acciones para la mejora en el uso de recursos deben estar orientadas en estos insumos. Fundamentado en esto se estratificaron los recursos importados de la economía mostrándose la relación porcentual de estos en la Figura 3.3.

Figura 3.3 Representación de la Energía consumida por cada importe de la economía. **Fuente:** Elaboración Propia.



Como se puede observar los mayores flujos se corresponden con el maíz y productos químicos debido a que el proceso consiste principalmente en la transformación de este recurso agrario para obtener un producto de valor añadido (almidón). No obstante, destaca en estos valores la alta magnitud de la labor humana lo que no es típico de procesos manufacturados como el del objeto de estudio. A opinión de la autora esto está dado principalmente debido al bajo grado de automatización de la fábrica lo que influye en un mayor requerimiento de obreros.

3.5 Resultados y análisis del cálculo de los indicadores emergéticos.

En la tabla 3.5 se muestran los resultados de los principales indicadores emergéticos calculados para el proceso analizado. A continuación, estos son debatidos.

Tabla 3.5 Resultado de los indicadores emergéticos. **Fuente:** Elaboración Propia.

Indicadores Emergéticos	Valor
% R	14.94%
EYR	1.35
ELR	5.69
ESI	0.236508631

La razón de renovabilidad representa la fracción de los recursos renovables (R) respecto a la emergía total consumida por el sistema (Y). Utilizando la ecuación 2.10 se determinó que de los recursos utilizados por la Empresa para producir Almidón, sólo un 14.94 % corresponden a los Recursos Renovables. Un bajo valor de Renovabilidad indica que el sistema no es sostenible a largo plazo, pues depende en gran medida de los recursos no renovables y los importados de la economía.

La razón de eficiencia emergética es una medida de la habilidad del proceso para explotar y hacer disponible los recursos naturales por la inversión externa. Aplicando la ecuación 2.11 el valor obtenido fue de 1.35. En este caso $EYR < 2$, por tanto no hay contribución significativa de recursos locales (renovables y no renovables) y están asociados a procesos casi completamente manufacturados. Se considera un valor bajo, el cual indica un bajo beneficio económico y una competencia de mercado débil.

La razón de carga ambiental compara la cantidad de recursos energéticos no renovables y adquiridos de la economía (N+F) con la cantidad de recursos renovables (R). El valor de razón de carga ambiental obtenido utilizando la ecuación 2.12 fue de 5.88. Cuando $3 < ELR < 10$ el impacto es considerado moderado, aunque sería aconsejable reducir este índice, pues bajos valores de ELR indican que los procesos tienen un bajo impacto ambiental y cuentan con un área lo suficientemente grande para diluir el impacto.

El índice de sostenibilidad energética es útil para medir la apertura y los cambios de carga ocurridos a través del tiempo en procesos tecnológicos. Al calcular el índice de sostenibilidad mediante la ecuación 2.13 se obtuvo un valor de 0.236508631. Este valor no se encuentra en el rango de $1 < ESI < 5$, el cual puede afirmar que el sistema contribuye moderadamente a la economía. Por tanto, para un valor tan bajo de ESI se considera que el proceso que no contribuye a la economía y no es sustentable a largo plazo.

La Emergía específica es la relación entre la emergencia total (Y) y la producción anual del producto final. En este caso el producto final es el Almidón y su producción anual es de 7949.3 toneladas. Para estimar el valor de la emergencia se convirtieron las toneladas de almidón en gramos. Como resultado del cálculo se obtuvo una emergencia específica de $3.02E+09$ seJ/g año; este valor indica que por cada gramo de almidón que se produce es necesario $3.02E+09$ seJ.

3.6 Identificación de posibles mejoras.

Durante la conducción del estudio se afrontaron algunas limitaciones debido a que en la empresa la contabilidad de los flujos se realiza solo en un punto del proceso (a la entrada) lo que dificulta identificar aquellos procesos que más influyen en el consumo de materiales. Un ejemplo es el agua, pues actualmente la empresa no cuenta con metros contadores. Esto es de vital importancia en el contexto de nuestra nación dada la importancia de los recursos hídricos, más agravado por las condiciones geográficas de insularidad del país.

Anteriormente fue señalado que la empresa no cuenta con la suficiente automatización en su proceso y necesita de excesiva labor humana para la producción. Muchas de las labores de carga y descarga son realizadas manualmente por operadores lo que dificulta la eficiencia de los procesos. Además, expone a los trabajadores a condiciones y sustancias con posibles repercusiones para su salud. Por ello se propone mejorar el

sistema de medición y automatización en la empresa lo que tributará a desde la planeación estratégica mejorar el desempeño del sistema.

Conclusiones

CONCLUSIONES

El análisis emergético constituye un método de valoración de impacto ambiental interesante, una vez que abandona la postura tradicional que asume la rentabilidad económica como base de la evaluación. Su aplicación a la producción de almidón de maíz resulta adecuada debido a la importancia de este producto para la alimentación.

La emergía específica del almidón para el sistema analizado fue $3.02 \text{ E}+09 \text{ seJ/g}$ constituyendo los recursos importados de la economía la principal fuente del proceso. El índice de sostenibilidad emergética (ESI) calculado fue 0.23 indicando que el sistema no es sostenible a largo plazo por lo que se deben tomar acciones para mejorar el desempeño ambiental de la entidad.

Se identificaron dificultades en el sistema analizado respecto a la metrología y automatización de los procesos. Esto influye negativamente en su desempeño por lo que se hace necesario valorar la posible adquisición de tecnologías más eficientes para estas tareas.

Recomendaciones

RECOMENDACIONES

Socializar los resultados obtenidos en la tesis para que sirvan como soporte de información para la toma de decisiones por los directivos de la entidad

Extender los estudios de este tipo a otras empresas del territorio a fin de disminuir la incertidumbre en la cuantificación de las unidades de valor emergético de los insumos

Referencias Bibliográficas

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Camps, D. N., & González, G. O. (20 de marzo de 2002). *El gluten feed de maíz en el engorde vacuno en feedlot*. Recuperado el 23 de mayo de 2018, de Sitio Argentino de Producción Animal: <http://www.produccion-animal.com.ar/>.
- Aguilar, & Espinosa. (2015). Evaluación Emergy y LCA en la agroindustria azucarera de Veracruz, Mexico. *Cultivos Tropicales*, 36(4), 144-157.
- Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2017). *Fundamentals of heat and mass transfer* (8 ed.). United States of America: John Wiley & Sons.
- Bravo Amarante, E., López Bastida, E. J., & Romero Romero, O. (2018). La emergía como indicador de economía ecológica para medir sustentabilidad. *Revista Universidad y Sociedad*, 10(5), 78-84.
- Bravo, E. (2019). *Metodología para valorar la sostenibilidad de la gestión de residuos agrícolas con fines energéticos*. (Tesis Doctoral) Universidad de Cienfuegos.
- Campbell. (2009). *Environmental accounting using emergy. Evaluation of Minesota*. United States Environmental protection Agency: Editorial Atlantic Ecology Division.
- Campbell, D., Bastianoni, S., & Ridolfi, E. (2009). The solar transformity of petroleum fuels. *Ecological Modelling*, 186(2), 212-220.
- Carrera Sánchez, M. (1983). Estructura y dinamismo de la industria: importancia de la industria alimentaria. 124-138.
- Carrillo, M., & Reyes, A. (2013). Vida útil de los alimentos. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*. 37(7) 5591-5601.
- Caruso, C., Catenacci, G., Marchettini, N., Principi, I., & Tiezzi, E. (2001). Emergy based analysis of Italian electricity production system. *Journal of thermal analysis and Calorimetry*, 66(1), 265-272.
- Crespo, C., & Garmendia Salvador, A. (2005). Madrid. *Evaluación del impacto ambiental: Pearson Educación*.

- Gálvez. (2016). Análisis emergético para la reutilización de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de Santa Clara-Lima, Perú. *Ingenium*, 1, 9-15.
- Goizueta, M. E. (2014). *Conducta, dinámica y patrones tecnológicos de la cadena del maíz* (1 ed.). Buenos Aires: Tecnología e Innovación Productiva.
- Hernandez, A. L. (2000). *Evaluación de Impacto Ambiental en Cuba*. Obtenido de <https://www.monografias.com>
- Lomas, P. (2009). *Aportaciones de la síntesis emergética a la evaluación multi-escalar del empleo de los servicios de los ecosistemas a través de casos de estudio*. (Tesis de doctorado) Universidad Autónoma de Madrid, Departamento de Ecología, España.
- Lomas, P., Martín, B., & Rodríguez, M. (2007). “*La síntesis emergética (emergy synthesis)*”, *Integrando energía, ecología y economía*. revista Ecosistema 16 (3) 45.
- Maza, C. L. (abril de 2018). <http://www.epa.gov-waterscience/wqm/>
- Moring. (2006). *Termodinámica* (2). La Habana, Cuba: Félix Varela.
- Naciones Unidas. (2018). *Objetivos del Desarrollo Sostenible. Agenda 2030*.
- Ochoa, P. (2008). *Las producciones más limpias en la gestión empresarial*. La Habana: Félix Varela.
- Odum, H. T. (1996). *Environmental accounting. Emergy and environmental decision making*. New York: John Wiley & Sons.
- Odum, H. T., & Brandt-William, S. (2000). *Introduction and Global Budget*. In *Handbook of Emergy Evaluation. A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in a Series of Folios*. Florida.
- Perenzuela, R. (2019). *Evaluación del desempeño ambiental de la producción de electricidad en la Termoeléctrica de Cienfuegos*. (Tesis de grado) Universidad de Cienfuegos
- Perez, R. (Enero de 2015). <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.

- Raugei, M., & Brown. (2015). *On the feasibility of using emergy analysis as a source of benchmarking criteria through data envelopment analysis*.
- Rodriguez, B. (2014). *Metodología para la evaluación de impacto de ciclo de vida para la industria cubana*. (Tesis doctoral) Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- Serratos Hernández, J. A. (2009). *El origen y la diversidad del maíz en el continente americano*. Mexico: Greenpeace.
- Ugliati, S., & Brown, M. T. (enero de 2004). *Emergy analysis and environmental accounting*. Elsevier.
- Valdés, A., López Bastida, E. J., & Alonso, A. (2019). Gestión de Residuos Industriales y Sostenibilidad. Necesidad de un enfoque de Economía Ecológica. *Universidad y Sociedad*, 11(4), 424-435.
- Weigel, J. C., Loy, D., & Kilmer, L. (2015). *El uso de la harina de gluten de maíz*. (3) México.