



**UNIVERSIDAD
DE CIENFUEGOS**
CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ

**FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**

Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Mecánico

Título: Evaluación del impacto ambiental del proceso de lavado de arena en la planta El Canal.

AUTOR: Luis Javier Aparicio Ortiz

TUTOR: Ing. Alejandro Valdés López

Cienfuegos 2019

DECLARATORIA DE AUTORIDAD

Por la presente declaro que soy el único autor de este trabajo de diploma titulado Evaluación del impacto ambiental del proceso de lavado de arena. Caso de estudio UEB Lavadora de arena “El Canal” y por este medio reconozco al Departamento de Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cienfuegos con todos los derechos patrimoniales del mismo. Para que así conste firmamos la presente a los _____ días del mes de _____ del _____.

Autor: Luis Javier Aparicio Ortiz

Tutor: Ing. Alejandro Valdés López

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido revisado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referente a la temática señalada.

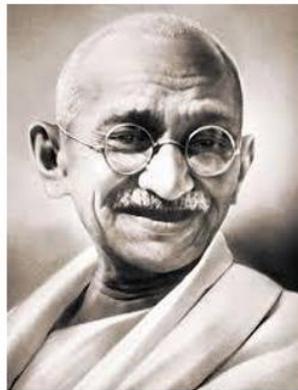
Firma Vicedecano

Firma Tutor

PENSAMIENTO

*“Nuestra recompensa se encuentra en el
esfuerzo y no en el resultado.*

*Un esfuerzo total es una victoria
completa.”*



Mahatma Gandhi

DEDICATORIA

A todos los que quiero y me quieren.

A mi familia, por ser parte de este resultado, especialmente.

A mi abuela, madre y primo por la educación que me brindaron y su infinito amor.

A mis hermanos, como estímulo para su actividad futura

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todas aquellos que de una forma directa e indirecta colaboraron en la realización de esta tesis.

Sin mencionar nombres, pues resultaría una lista extremadamente extensa, deseo que en estas palabras sientan mi enorme gratitud cada uno de mis familiares y amigos que han estado conmigo, apoyándome, en los momentos difíciles: en general a todas las personas que llevo en la mente y el corazón. Especial agradecimiento a mi tutor Alejandro, por la gran lucidez intelectual y el vigor científico en la dirección del trabajo, por su dedicación, aliento y entusiasmo que hicieron posible esta tesis, por su paciencia en corregir mis errores y sus consejos oportunos. Gracias por su enseñanza y su amistad.

Eterno agradecimiento al claustro de profesores que me formaron como ingeniero a lo largo de estos años.

Gracias a todos cuya solidaridad ha sido determinante para realizar este trabajo.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE	6
1.1. Introducción.....	6
1.2. Surgimiento del concepto de desarrollo sostenible.....	6
1.2.1. Energía y su vinculación al desarrollo.....	8
1.3. Importancia de la industria de materiales de la construcción para el desarrollo.....	9
1.3.1. Industria arenera cubana.....	10
1.4. Metodologías para la evaluación de impacto ambiental.....	11
1.4.1. Análisis de ciclo de vida.....	12
1.4.2. Análisis emergetico o síntesis emergética.....	17
CAPITULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	27
2.1.Introducción.....	27
2.2. Caracterización general de la Empresa Materiales de Construcción Cienfuegos.....	27
2.2.1.Planta lavadora de arena “El Canal”.....	28
2.2.2.Tecnología actual de beneficio de arena en la planta El Canal.....	29
2.3. Materiales y métodos.....	31
2.3.1. Procedimiento para realizar un análisis de ciclo de vida.....	31
2.3.2.Análisis emergético.....	40
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	51
3.1. Introducción.....	51
3.2. Análisis emergético.....	51
3.3. Análisis de ciclo de vida.....	55
3.3.1. Etapa 1. Definición de objetivo y alcance del estudio.....	55
3.3.2.Etapa 2. Análisis de inventario.....	56
3.3.3. Etapa 3. Evaluación de impactos.....	56
3.4. Propuesta de mejora.....	58

3.4.1. Comparación de la tecnología actual con respecto a la propuesta de mejora.....	63
CONCLUSIONES.....	66
RECOMENDACIONES.....	67
BIBLIOGRAFÍA.....	68
ANEXOS	51

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo analizar el impacto ambiental del proceso de beneficio de arena en la planta El Canal, perteneciente a la Empresa de Materiales de la Construcción Cienfuegos. Para ello se utilizaron los métodos de análisis emergético y análisis de ciclo de vida. Se determinó que la emergía específica de la arena beneficiada es $5.3830E+09\text{seJ/g}$ lo que es un aporte importante para posteriores estudios. El sistema actual manifiesta un índice de sostenibilidad emergética igual a 3,6773 lo que indica que el proceso no es sostenible a largo plazo pero que sí representa un aporte considerable a la economía local. Según la metodología ReCipeMidpoint H, y usando ELCD como base de datos, las categorías de impacto más importantes en el proceso son: agotamiento del agua, toxicidad humana, radiación ionizante, cambio climático y acidificación terrestre. Se pudo comprobar que una mejora interesante a introducir en el proceso es la tecnología de filtración para la recuperación de agua aumentando el índice de sostenibilidad emergética a 4,0708 y disminuyendo significativamente el agotamiento del agua, a la vez que las demás categorías de impacto permanecen aproximadamente igual.

Palabras claves: análisis de ciclo de vida, análisis emergética, beneficio de arena.

ABSTRACT

Present it investigation aims at The Canal, perteneciente examining the environmental impact of the process of benefit of sand in the plant to Materiales's Company of the Construcción Cienfuegos. Emergético and analyses of cycle of life utilized the methods of analysis themselves for it. It was determined that he emerged specific +09 is 5.3830E of the benefitted sand seJ g that is an important contribution for posterior studies. The present-day system manifests sostenibilidad's rate equal emergética to 3.6773 that indicates that the process is not sustainable in the long run but that definitely a considerable contribution represents local economy. According to the methodology ReCipe Midpoint H, and using ELCD like base of data, the more important categories of impact in the process are: Exhaustion of water, human toxicity, radiation ionizante, climatic change and terrestrial acidification. Emergética to 4.0708 and decreasing the exhaustion of water significantly could verify that an interesting improvement to introduce in the process is the technology of leak for the recuperation of water increasing sostenibilidad's rate, to the time than them besides categories of impact remain approximately equal.

Key words: Analysis of cycle of life, analysis emergética, benefit of sand.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la eficiencia es un tema obligado para los comprometidos con el desarrollo de una empresa, ciudad, país o cualquier tipo de institución. Un país será competitivo cuanta más alta sea su capacidad para sostener y expandir su participación en los mercados internacionales y elevar simultáneamente el nivel de vida de su población. Esto exige el incremento de la productividad y la incorporación de progreso tecnológico ¿Cómo ser más eficientes y competitivos? Las respuestas a esta interrogante serán múltiples, de acuerdo con las diversas ciencias y técnicas existentes.

La nueva cultura ambiental impone la aceptación del límite a la explotación incontrolada de recursos, supone el final de un periodo en el que la empresa llevaba a cabo sus actividades, sin preocuparse del impacto ambiental. El reto para el diseñador está en su capacidad para desarrollar las exigencias ecológicas dirigidas a lograr un producto respetuoso con el medio ambiente y para la empresa en su capacidad para crear productos con un significado y utilidad relacionados con la sensibilidad hacia la ecología, para articular los valores culturales y las nuevas demandas de consumo. En este sentido las empresas y los diseñadores tienen en sus manos la posibilidad de ofrecer mejores soluciones que las precedentes y facilitar productos «responsables» para ayudar a dar forma a una sociedad sostenible(Rodriguez.M.C, 2004).

Las nuevas estrategias para reducir el impacto ambiental de la actividad industrial, se basan en un enfoque integral preventivo, que privilegia una mayor eficiencia de utilización de los recursos materiales y energéticos, incrementando la productividad y la competitividad. Ello involucra la introducción de medidas tecnológicas y de gestión para reducir los consumos de materiales y energía, prevenir la generación de residuos en su fuente, reducir los aspectos ambientales adversos a través de todo el ciclo de producción y en todas las fases del desarrollo del proyecto e implementación industrial, en las diferentes actividades que tienen lugar a través del ciclo de vida de los productos, desde la extracción de los recursos básicos hasta la disposición de los residuos finales. El personal involucrado en la actividad productiva, debe contar con las herramientas para

contribuir a minimizar su impacto ambiental, requiriendo de un esfuerzo colectivo de los profesionales.

Las modificaciones tecnológicas e innovaciones a los procesos industriales aparecen como conclusión de un proceso de búsqueda de un mejor desempeño productivo. Todos estos elementos se integran en el concepto de Producciones más Limpias (P+L), que en la década de los 80 surgió como un paradigma de los países desarrollados y hoy constituye un principio fundamental para el desarrollo de la actividad industrial. El programa de acción destinado a minimizar el daño ambiental y garantizar la sustentabilidad de los procesos de desarrollo (Agenda 21) acordado en Río de Janeiro y las conclusiones del Tercer Foro de Desarrollo Productivo realizado en 1997, han fomentado las P+L como componente básico de una política de desarrollo económico-social.

SegúnLangenhve(2002), un proceso tecnológico no es sostenible si toma materias primas de la ecosfera a una razón más rápida que a la cual se genera, o si produce desechos que puedan dañar los mecanismos ecológicos y por tanto la producción de recursos. Es obvio que para la cuantificación de la sostenibilidad de la tecnología se requiere del uso de varias herramientas como son el análisis emergético o el análisis del ciclo de vida completo del producto, del típico principio, desde la cuna hasta la tumba, del Análisis del Ciclo de Vida (ACV). Actualmente, el ACV puede considerarse una de las mejores herramientas para la evaluación de la sostenibilidad de opciones tecnológicas, ya que tiene en cuenta todos los efectos en el ecosistema y la población que puedan poner en peligro las posibilidades de las presentes y futuras generaciones(Zaror.C, 2000).

El término ACV, a pesar de tener los primeros desarrollos metodológicos en los años 60, se ha tomado en cuenta con especial atención a partir de los años 90. Los primeros estudios se centraron en el reciclaje y actualmente se ha hecho más importante porque el reciclaje en la industria ha madurado, por lo que esta herramienta puede ser una gran ayuda para la toma de decisiones. La metodología de ACV integra todos los impactos ambientales ocurridos a lo largo del ciclo de vida del producto y los relaciona con problemas ambientales específicos, permitiendo detectar situaciones en las que un determinado sistema

parece “más limpio” que otro simplemente porque transfiere las cargas ambientales a otros procesos o región geográfica, sin un mejoramiento real desde el punto de vista global, además permite establecer prioridades para definir las estrategias preventivas de mejoramiento del desempeño ambiental. Un ACV completo es costoso y requiere tiempo, pero este puede retornar significativas ganancias en disminución de impactos, conservación de recursos y reducción de costos. Además, las técnicas computarizadas muestran avances en la facilidad y eficacia del método. SimaPro 6.0 es una poderosa herramienta que permite modelar cualquier ciclo de vida y analizar sus resultados inmediatamente, es el software para ACV más usado (Fullana.P, 2002).

Según Rieradevall (2000) el ACV es una de las herramientas de P+L más novedosas y útiles para aplicar los conceptos de prevención de la contaminación. Permite disponer de información para cuantificar la magnitud de los problemas ambientales y definir las estrategias de mejora con mayor seguridad, aunque sólo da información acerca de los impactos ambientales, en la toma de decisiones esta información debe ser complementada con otros análisis.

Además, aunque el ACV constituye una herramienta para determinar la sostenibilidad de diversas opciones tecnológicas, las metodologías actuales presentan limitaciones en cuanto al carácter subjetivo que siempre está presente en la fase de evaluación de impactos (Langenhve, 2002). Una aplicación más reciente, con el objetivo de evaluar la sostenibilidad de procesos tecnológicos es el ACV termodinámico o emergético (ACVE), el cual permite cuantificar el uso de recursos en términos de emergía y expresarlos como emergía de origen renovable y no renovable. La dificultad del ACVE, es el análisis del efecto negativo de los residuos, pues el contenido emergético de una emisión no necesariamente se relaciona con el daño al ecosistema y salud humana, aunque desde el punto de vista tecnológico, es posible calcular la emergía requerida para la reducción de los residuos antes de su emisión (Cornelissen.R.L, 1997), de aquí la necesidad de combinar los métodos de ACV y ACVE para lograr un análisis más objetivo. Tomado esto en consideración se establece el siguiente problema científico.

Problema Científico

Cómo cuantificar el impacto ambiental generado por el proceso de lavado de arena en la planta El Canal.

Hipótesis

Si se conduce un análisis emergético y de ciclo de vida se podrá cuantificar el impacto ambiental que genera el proceso de beneficio de arena.

Objetivo General

Evaluar el desempeño ambiental del proceso de producción de arena en la UEB “El Canal” mediante indicadores emergéticos y el análisis de ciclo de vida.

Objetivos Específicos

1. Establecer los elementos conceptuales del análisis emergético y de ciclo de vida y su vinculación a la evaluación del impacto ambiental de los procesos.
2. Evaluar el desempeño ambiental del proceso de beneficio de arena en la planta El Canal mediante el análisis de los indicadores emergéticos y de ciclo de vida
3. Identificar posibles alternativas a valorar para mejorar el desempeño del sistema

Para guiar esta investigación la tesis se dividió en tres capítulos.

En el capítulo 1 se refleja la base teórica del contenido de la tesis como son los aspectos fundamentales que compone el análisis de ciclo de vida y el análisis emergético para así comprender cada paso dado en la investigación.

El capítulo 2 se compone de una caracterización de la planta lavadora de arena “El Canal” se explica el objeto de estudio. Después, se exponen detalladamente los pasos a seguir para darle solución a cada método, 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. Para ello se apoyó principalmente en la información obtenida de las diferentes etapas del análisis de ciclo de vida y de la metodología emergética. Finalmente, se recomiendan alternativas y mejoras para el desarrollo de la entidad.

Aportes de la Investigación

En la investigación se cuantifica el costo ambiental para sostener el sistema productivo del lavado de arena analizándolo desde la perspectiva de dos métodos: el análisis emergético y el análisis de ciclo de vida. Se analiza como con la introducción de la tecnología de filtración se puede disminuir el impacto ambiental una vez que se logra la producción usando de manera más eficiente el recurso agua.

ΣΑΡΪΤΥΛΟ 1

CAPÍTULO 1. REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

1.1. Introducción.

En este capítulo se aborda el surgimiento del concepto de desarrollo sostenible y su aplicabilidad para lograr una mayor eficiencia en los sistemas industriales. Se describe la industria arenera, dentro de la de los materiales de la construcción, y su importancia para el desarrollo de la nación. Se examinan varias metodologías para la evaluación de impacto ambiental enfatizando en mayor medida los métodos de análisis de ciclo de vida y emergético. Se analizan las bases teóricas de ambos métodos y cómo estos pueden ser aplicados para valorar estos procesos.

1.2. Surgimiento del concepto de desarrollo sostenible.

En el informe *OurCommonFuture*(WCED, 1987) se examinan los problemas más críticos en torno al desarrollo y el medio ambiente y se indican propuestas de solución, desde allí se difunde el término desarrollo sostenible como aquel que responde a las necesidades del presente de forma igualitaria, pero sin comprometer las posibilidades de sobrevivencia y prosperidad de las generaciones futuras. Establece que la pobreza, la igualdad y la degradación ambiental no pueden analizarse de manera aislada, el documento coloca a la pobreza como una de las causas y consecuencias de los problemas ambientales.

En el año 1985 ante el reconocimiento internacional del enorme problema que representaba el agujero en la capa de ozono, se convoca a los países a la llamada Convención de Viena para la Protección de la Capa de Ozono, se firmó en 1987 con base en los artículos 2 y 8 de esa convención uno de los primeros acuerdos internacionales en materia ambiental llamado Protocolo de Montreal. En el 2000 se celebra la III Conferencia de Ciudades Europeas Sostenibles. La conferencia, según(Aguilar Barajas, 2002), se denominó Llamamiento de Hannover, esta convocatoria sirvió para evaluar los progresos que se habían conseguido en materia de sostenibilidad y cómo llegar a un acuerdo para seguir trabajando en este camino de cara al siglo XXI. En 2004 se presenta la Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones, conocido como: Hacia una estrategia

temática sobre el medio ambiente urbano (Bruselas)(Marbán Flores, 2006), expresa que la Comisión sugiere que el desarrollo sustentable debe estar apoyado por el medio urbano. Definió el cambio en la forma de vida que cada vez es más contaminante, esta comunicación pretende buscar soluciones a todos los problemas medio ambientales, las políticas y la legislación de cada país debe contribuir a una mejor aplicación medioambiental.

El planeta ha evolucionado en los últimos tiempos ante los cambios ocurridos a una velocidad vertiginosa, se han generado transformaciones económicas, culturales, políticas, tecnológicas, científicas, sociales y medio ambientales, sobre todo si la palabra desarrollo es un término relacionado con crecimiento, estabilidad social y modernización.(Espinosa, 2007), considera que la sobreexplotación de recursos naturales y el inadecuado uso del medio ambiente constituyen problemas que traspasan los límites de los países, por tanto, la consecución del desarrollo sostenible necesariamente implica una respuesta global.

La visión tradicional del desarrollo económico siempre minimizó los componentes ambientales, el ser humano al relacionarse con el medio ambiente provoca un impacto ambiental. Este se define como como la alteración positiva o negativa del medio ambiente, provocada directa o indirectamente por un proyecto o actividad en un área determinada, dicha interacción se da porque el ser humano necesita de la naturaleza para sobrevivir y de sus recursos naturales para sus actividades diarias. A medida que el ser humano continúa con sus actividades de supervivencia, los recursos sean renovables o no renovables se agotan,(León Bolaños, 2015), por lo tanto, el impacto del ser humano sobre el ambiente es negativo. En sus investigaciones(Díaz, 2009), manifiestan que el medio ambiente envolvió a la sociedad desde los primeros tiempos de la historia humana, la economía se halla dentro de la sociedad y la misma requiere de la interacción de la comunidad, según(Belt, 1997). En síntesis, la economía existe dentro de la sociedad y antes dentro del medio ambiente.

Las sociedades han confundido la relación que deben tener con la naturaleza.(León Bolaños, 2015), considera que se ha caído en un patrón materialista y consumista, en el cual el ser humano busca poseer más, no solo

para satisfacer necesidades básicas sino para complacer lujos, mediante la utilización de los recursos que ofrece la Tierra. Para (Ortega, 2009) el 99% de las cosas que se compran se desechan en 6 meses, ahora se consume el doble de lo que se consumía en los años 50. Es necesario el cambio en la producción donde hay poca o nula preocupación medio ambiental.

1.2.1. Energía y su vinculación al desarrollo.

Resulta sencillo concebir una imagen mental de lo que significa el término energía, pero definir este concepto con palabras, más allá de la “capacidad para realizar un trabajo” que a todos nos enseñaron en el colegio, es algo más complicado. La energía no es algo tangible, no puede ser percibida por los sentidos, ni siquiera es una propiedad física de la materia, aunque, en esencia, la propia materia sea pura energía (Garrido, 2009).

Uno de los temas que mayor proyección tiene en el debate político global y en el nuevo orden mundial emergente es la interacción entre la problemática ambiental y la problemática energética. Si bien la tendencia tradicional ha sido analizarlas por separado, como si cada una de ellas respondiera a lógicas diferentes, lo cierto es que ambas son variables de una misma ecuación político-estratégica cuya solución es en extremo compleja y que, además, se proyecta determinante para las relaciones de poder en el presente siglo.

Como muy bien ha señalado Osvaldo Sunkel(2011), la energía no es un recurso más, por el contrario, tiene un carácter estratégico único, dado que se pueden sustituir las fuentes energéticas, pero el fluido energético es insustituible, es imprescindible en cualquier proceso de transformación o producción. Por lo tanto, la energía siempre ha jugado un papel crítico en el proceso económico de cualquier sociedad.

Uno de los principales vectores de nuestra evolución ha sido y es, sin lugar a dudas la energía. Ésta ha hecho posible que el ser humano no solo poblara prácticamente la totalidad de la superficie del planeta (el control sobre el fuego tuvo, en un principio, mucho que ver en ello), sino que llegara incluso a poner el pie sobre “otros planetas”. La energía es fuente de calor, de luz, hace posible que nos desplazemos, que cultivemos nuestros alimentos, que fabriquemos

máquinas que trabajen por nosotros para que dispongamos de nuestro tiempo como mejor nos plazca. No obstante, aunque la energía sea claramente el motor del desarrollo de la humanidad, su consumo lleva asociadas dos características inherentes, de las que no siempre hemos sido plenamente conscientes: (Escases de los recursos energéticos, Impacto nocivo sobre el medio ambiente) (Garrido, 2009).

El consumo de energía tiene un impacto negativo sobre el medio ambiente, en todas sus etapas: desde su extracción/generación hasta su utilización. Existen pocas dudas acerca de su vinculación directa con el fenómeno del cambio climático, fenómeno asimétrico que, casualmente, afecta de forma más intensa a los países del Sur.

El modelo actual de desarrollo se sustenta, en gran medida, sobre el consumo de petróleo, gas natural y carbón, recursos que son limitados y, por lo tanto, antes o después, se acabarán. Pero tal vez, ni siquiera sea necesario llegar al agotamiento de éstos para que el problema (el fin del modelo de civilización tal y como lo conocemos) se manifieste en su verdadera magnitud, ya que la mera sensación de escasez progresiva puede dar lugar a conflictos a nivel mundial por el control de los recursos (Garrido, 2009).

1.3. Importancia de la industria de materiales de la construcción para el desarrollo.

La construcción constituye sin duda una de las actividades más ancestrales del ser humano. Los arqueólogos han encontrado restos de cabañas de casi 400,000 años de antigüedad. La construcción y el desarrollo siempre han estado muy interconectados y resulta imposible hablar de desarrollo sin considerar el sector de la construcción en distintos ámbitos. Las Construcciones se dividen en varios grupos como son: infraestructuras sociales, obras civiles, vivienda. La industria de la construcción además de proveer las bases para el desarrollo en otros campos, representa también uno de los mayores sectores de la economía por sí misma. Generalmente se le ha considerado una industria estratégica para la creación de empleo y el desarrollo sostenido, Para la economía de los países en vía de desarrollo el sector de la construcción adquiere una importancia particular por su

relación con las infraestructuras básicas ,la contratación ,la transferencia de tecnología y la mejora del acceso a los canales de información. La construcción está íntimamente ligada al desarrollo, siendo a la vez una herramienta y motor cuando su objetivo es el de proveer servicios que responden a una demanda efectiva de la comunidad.El objetivo de toda construcción es su funcionalidad y, por tanto, no es el proceso constructivo en sí mismo. No obstante,la selección de tecnología y materiales apropiados y la participación de la comunidad durante la construcción pueden ser las claves de un correcto mantenimiento y, por tanto, de la durabilidad y la infraestructura.

1.3.1.Industria arenera cubana.

La arena es un producto básico para la industria de materiales de construcción, y para la industria de la construcción. Cuba consume aproximadamente 6 000 000 m³ anuales, como parte de la tecnología del hormigón hidráulico para las edificaciones, industria de la construcción y mantenimiento de viales. La producción de arena en Cuba es desarrollada y explotada por las Empresas de Materiales de la construcción, pertenecientes al Grupo Empresarial de Industrias de la Construcción (GEICON), subordinado al Ministerio de la Construcción(MICONS).

Las Empresas de Materiales de Construcción existen en cada provincia, con sus Unidades empresariales de Base, que a su vez poseen sus Centros Establecimientos, y Talleres según su actividad. Cada Empresa de Materiales de Construcción del país tiene dentro de su estructura funcional la actividad de producción de áridos fino (arena) en dependencia de la constitución geológica de los yacimientos, las características cualitativas y sus usos industriales existente en cada territorio. Y según el grupo al que pertenece el yacimiento de acuerdo al Manual de búsqueda y exploración de Materiales de Construcción de B.N Borzunov, Editorial NEDRA(1977).

El volumen de producción de cada provincia depende de la reserva mineral existente, en función de la cual está la tecnología de beneficio, y para lo cual está establecido la confección del plan de desarrollo minero, por el que se confecciona el plan calendario anual de extracción, actividad que es supervisada

por las empresas Geominera del país(Oriente-Centro y Occidente) y por EXPLOMAT y son utilizadas las Normas de proyección Tecnológicas , Las Reglas Únicas de Seguridad en la Explotación de los yacimientos de Mineralesútiles a Cielo Abierto existentes en la extinta URSS y aplicadas hasta el momento en el país.

En su mayoría los áridos del país son de origen calizo generalmente de rocas sedimentarias, se obtienen directamente de yacimientos y en canteras. Los de yacimientos corresponden a una explotación a cielo abierto de yacimientos de arenas y gravas las cuales se depositan generalmente en terrazas fluviales, son extraídas mediante simples sistemas de lavado y clasificación, empleándose tal y como se encuentran en la naturaleza.

Sin embargo en la última década se han observado debilidades en la explotación de áridos en el país, debido a dificultades con la productividad del trabajo, que ha generado problemas de seguridad y mayor impacto al medio ambiente(Almeida, 2017). Todos estos problemas surgen fundamentalmente debido a, bajo grado de conocimiento de las reservas, debido a que no se realizan suficientes estudios ni exploraciones que permitan aumentar el grado de conocimiento del yacimiento y orientar los trabajos de explotación de forma racional, deterioro de la infraestructura instalada y tecnología de arranque, alto grado de deterioro del equipamiento tecnológico.

1.4. Metodologías para la evaluación de impacto ambiental.

La evaluación de impacto ambiental (EIA), es un procedimiento jurídico-administrativo que tiene por objetivo la identificación, predicción e interpretación de los impactos ambientales que un proyecto o actividad produciría en caso de ser ejecutado, así como la prevención, corrección y valoración de los mismos, todo ello con el fin de ser aceptado, modificado o rechazado por parte de las distintas Administraciones Públicas competentes.

Numerosos tipos de métodos han sido desarrollados y usados en el proceso de evaluación de impacto ambiental (EIA) de proyectos. Sin embargo, ningún tipo de método por sí solo, puede ser usado para satisfacer la variedad y tipo de actividades que intervienen en un estudio de impacto, por lo tanto, el tema clave

está en seleccionar adecuadamente los métodos más apropiados para las necesidades específicas de cada estudio.

Los métodos más usados, tienden a ser los más sencillos, incluyendo analogías, listas de verificación, opiniones de expertos (dictámenes profesionales), cálculo de balance de masa y matrices, etc. Aún más, los métodos de evaluación de impacto ambiental pueden no tener aplicabilidad uniforme en todos los países debido a diferencia en su legislación, marco de procedimiento, datos de referencia, estándares ambientales y programas de administración ambiental.

Entre las varias metodologías generales existentes, se pueden seleccionar en función de que representan un amplio rango de opciones, las siguientes:

- Listas de chequeo.
- Matriz de Leopold.
- Sistema de evaluación ambiental Batelle-Columbus.
- Método de transparencia (Mc Harg).
- Análisis costes-beneficio.
- Modelos de simulación.
- Sistemas basados en un soporte informatizado del territorio.
- Análisis de Ciclo de Vida(ACV).
- Análisis emergético.

1.4.1. Análisis de ciclo de vida.

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV), es una de las principales herramientas cuantitativas de análisis ambiental al servicio de las empresas para la toma de decisiones, que quieren poner en el mercado productos más respetuosos con el medio ambiente, contribuyendo con ello al desarrollo sostenible. Esta herramienta permite: evaluar de forma cuantitativa los impactos ambientales de un producto, comparar ambientalmente dos o más alternativas de diseño (a lo largo del ciclo de vida del producto: materias primas de diversos tipos/proveedores, sistemas de embalaje alternativos, distribución, uso y disposiciones finales como son el reciclado, la incineración o el vertedero), e incluso comparar ambientalmente distintos productos que realicen la misma función.

Las principales definiciones de ACV incluyen la de la Sociedad Química (SETAC): “El ACV es un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad. Esto se lleva a término: identificando y cuantificando la energía, materias utilizadas, y los residuos de todo tipo de vertidos al medio, determinando el impacto de este uso de energía y materias, y de las descargas al medio, evaluando e implementando prácticas de mejora ambiental”. La definición de la ISO (International Standards Organization), en su serie ISO 14040(2009)- Análisis de Ciclo de Vida, determina que: “El ACV es una técnica para estimar los aspectos ambientales y los impactos potenciales asociados con un producto, a través de: la compilación de un inventario de entradas y salidas relevantes de un sistema producto. La evaluación de los impactos ambientales potenciales asociados con estas entradas y salidas y la interpretación de los resultados del inventario y de las etapas de evaluación del impacto en relación con los objetivos del estudio(Suppen, 2005).

Conceptualmente este método se mantiene en natural y constante desarrollo, pues a medida que son divulgados nuevos trabajos prácticos con su aplicación, se intercambian informaciones entre usuarios de esta metodología. Su desarrollo empezó con variables ambientales y ahora se mejora y amplía con variables económicas y sociales para atender el desarrollo sostenible y la eco-eficiencia.

1.4.1.1. Importancia de la herramienta ACV.

Conforme a los especialistas, el ACV es una herramienta importante en la obtención de informaciones detalladas para el proceso de toma de decisiones en ingeniería. Así, si existe la oportunidad de escoger entre una gama de materiales y procesos de obtención y manufactura, las decisiones solamente pueden ser consideradas coherentes si fuesen tomadas con base en el análisis crítico, en particular al histórico de los materiales a ser empleados en la producción industrial. La importancia del concepto del Ciclo de Vida surge de dos conceptos básicos según es reflejado en Suppen(2005):

- Cuantificar un indicador agregado (como una unidad de medida ambiental), basado en los diferentes problemas ambientales y determinado por sus distintas variables (impactos). Esta cuantificación se realiza relacionando

los impactos con los problemas ambientales. Para la interpretación de estos impactos (por ejemplo, cantidades de energía, uso de materiales, emisiones) es importante establecer el efecto que tienen estos sobre los problemas.

- Establecer prioridades ambientales como base para la planificación del mejoramiento del desempeño ambiental. Basado en su enfoque sistémico, el ACV analiza todos los impactos durante todo el ciclo de vida de un producto, identificando las prioridades con base en las cuales se definen las estrategias preventivas del mejoramiento del desempeño ambiental.

La metodología del ACV, además de permitir un seguimiento sobre cada uno de los pasos del proceso, determina cuáles son los impactos más significativos, los cuantifica y les asigna un ecopuntaje para facilitar así una comparación de desempeño ambiental entre procesos similares. Aplicar esta metodología en cualquier empresa trae una serie de ventajas que posteriormente pueden aprovecharse para el desarrollo de otras actividades empresariales, por ejemplo; favorece la adopción de patrones de consumo y producción sostenible, el ahorro de costes al subsanar deficiencias en el aprovechamiento de materias primas, energía, agua, etc.

Además, proporciona información que puede ser útil en aspectos como: la introducción de innovaciones en el diseño de producto-servicio y facilita la implantación de un Sistema de Gestión Ambiental (SGA). También permite que el Sistema de Gestión de los Recursos Humanos aplique una planificación de estrategias ambientales, y si ya las tiene, pues el ACV permite que las mejore. En cuanto a los aspectos financieros, el ACV puede ser una ayuda útil para bajar los costos en la medida que el nuevo diseño y los nuevos procesos de fabricación, transporte y distribución, entre otros, promuevan una mayor eficiencia en la asignación y el empleo de materias primas, insumos y energía. De igual modo, provee ventajas comparativas y competitivas al proporcionar todos los elementos de análisis a las empresas que más tarde deseen certificar sus productos bajo esquemas de sellos ambientales o etiquetas ecológicas (Eco-etiquetado).

El ACV no sólo es un instrumento para proteger el medio ambiente y conservar los recursos naturales, sino un instrumento empresarial para reducir costos y mejorar posiciones en el mercado. Además de todas estas ventajas ya enumeradas, no se puede dejar de mencionar una muy importante que es la mejora de la eficacia en los procesos productivos, en los productos y en los servicios.

Los sectores empresarial e industrial reconocen ya la utilidad práctica del análisis de Ciclo de Vida como parte de los instrumentos de gestión para reducir el uso de materias primas, ahorrar energía, minimizar la contaminación y los residuos (disminuyendo costes), disminuir problemas, conflictos y riesgos (incluyendo la responsabilidad civil y penal) y mejorar la imagen de la empresa en el mercado(Herrmann & Kara, 2019).

Existen diferentes usos y aplicaciones del análisis de Ciclo de Vida, como primer enfoque se pueden clasificar sus usos como generales y particulares. Las aplicaciones generales incluyen:

- Comparación de diferentes alternativas
- Identificar puntos de mejora ambiental
- Tener una perspectiva global de problemas ambientales y evitar generar nuevos problemas
- Contribuir al entendimiento de las consecuencias ambientales de las actividades humanas.
- Conocer las interacciones entre un producto o actividad y el medio ambiente lo más pronto posible
- Dar información que apoye a los tomadores de decisiones a identificar oportunidades para mejoras ambientales.

Las aplicaciones particulares incluyen:

- Definir el desempeño ambiental de un producto en su ciclo de vida
- Identificar los pasos más relevantes en un proceso de manufactura relacionados a un impacto ambiental
- Comparar el desempeño ambiental de un producto con otros que den un servicio similar.

El análisis de Ciclo de Vida permite tener direcciones concretas y prioridades de cómo implementar acciones y alternativas de mejoramiento, permite una comparación total de todos los impactos ambientales del sistema de diferentes alternativas de productos que entregan una función o desempeño equivalente (Basosi, Cellura, Longo, & Parisi, 2018).

Es un método que comprende un conjunto de factores, incluyendo los flujos de contaminantes a través de todos los tipos de medios, de todos los procesos en las etapas del ciclo de vida de un sistema producto, y las consecuencias de estos flujos en todas las categorías de impacto ambiental relevantes.

1.4.1.2. Fortalezas y limitaciones del análisis de ciclo de vida.

La metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) ofrece una estructura que integra todos los impactos ambientales ocurridos a lo largo del ciclo de vida y los relaciona con problemas ambientales específicos. Con el enfoque “*desde la cuna hasta la tumba*”, se define al producto con todas las actividades necesarias para procesar, usar y disponer del producto y no sólo de los componentes individuales. El sistema de producción se considera como un conjunto complejo de distintos procesos y subsistemas como: el sistema de producción de la materia prima, sistemas de la cadena de producción, el uso y desecho, y el sistema de reciclaje. Determinando todas las entradas y salidas de todos los procesos del Ciclo de Vida, se obtienen todos los impactos para ser relacionados con los problemas ambientales definidos en la metodología y así abrir la posibilidad de interpretar el desempeño ambiental de la unidad analizada de manera integral.

De esta manera se evita que en el propósito de disminuir un impacto ambiental se incurra en aumentar otro impacto. Además, mediante esta herramienta se puede establecer una línea base de desempeño ambiental lo que permite la cuantificación de las mejoras de alternativas propuestas favoreciendo el proceso de toma de decisiones. Por esto permite la comparación de tecnologías para esclarecer cuáles son más amigables con el medio ambiente o ser usada desde la conformación de los productos y procesos desde el diseño.

Las limitaciones están dadas principalmente en que existen incertidumbres en:

- Los datos usados para generar el inventario.

- La metodología usada para analizar el inventario y para evaluar el impacto.
- La descripción del sistema en estudio.
- En los datos usados como referencia para la normalización.

El pesaje de impactos involucra elementos ideológicos y valores éticos que no pueden determinarse objetivamente. Los datos pueden presentar mucha variación entre las diferentes bases de datos, lo cual puede deberse a errores, a diferentes procedimientos de asignación o a diferentes niveles de tecnología existentes en el mismo momento y país (Mora, 2012).

1.4.1.3. Normas que establecen las fases de un Análisis de Ciclo de Vida.

La estructura del análisis de Ciclo de Vida se representa por cuatro normas fundamentales NC-ISO14040(2009), NC-ISO14041(2001), NC-ISO14042(2000) y NC-ISO14043(2000). La norma ISO 14040 define al “ciclo de vida” como las etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema producto, desde la adquisición de materia prima o de su generación a partir de recursos naturales hasta la disposición final y se establecen los fundamentos de la evaluación del Ciclo de Vida, es decir, el marco metodológico, y se explica brevemente cada una de las fases, la preparación del informe y el proceso de revisión crítica, mientras que en las tres normas restantes se explican en forma detallada cada una de las fases del análisis de ciclo de vida.

La aplicación correcta de la metodología de análisis de Ciclo de Vida está orientada por la elaboración de normas que ilustran su correcta implementación. La norma ISO/ TR14049 (sobre ejemplos ilustrativos de cómo aplicar la norma NC-ISO14042), la NC-ISO 14048 (sobre el formato para la documentación de datos para el ACV), la NC-ISO 14049 muestra ejemplos de aplicación de la NC-ISO 14041 para la definición del objetivo, alcance y el análisis del inventario para un análisis de Ciclo de Vida.

1.4.2. Análisis emergético o síntesis emergética.

En la década de los noventa surge una idea que integra la economía y la ecología, la síntesis emergética, lograda del trabajo de Howard. T. Odum, y Alfred J. Lotka en sus intentos de integrar sistemas ecológicos y económicos en términos

cuantitativos, empleando la energía como lenguaje común. El análisis emergético o síntesis emergética es una técnica de evaluación cuantitativa, de valoración ambiental, que determina la cantidad de energía directa o indirecta, de una clase, que ha sido usada durante cierto proceso para generar servicios y productos de diferentes calidades, basada en la conversión a unidades comunes de los flujos de energía, masa y dinero. Se puede considerar un sistema de contabilidad y de gestión ambiental; es decir, este método permite 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 esta última y realizar la toma de decisiones ambientales (gestión) (Durand, 2016).

Es primordial hacer la aclaración sobre la selección de la energía solar como la energía de referencia, pues en el análisis emergético, ésta es la principal entrada de energía poco concentrada a la ecósfera (ecosistema global de la Tierra), es decir, en la Tierra la fuente más abundante de energía es la luz solar, pero, debido a que fluye en el espacio y tiempo, tiene una baja calidad en comparación a otras formas de energía de la Tierra derivadas desde ésta.

El análisis emergético se ha aplicado para realizar diversas evaluaciones, como la evaluación de la energía proveniente del sistema terrestre, como recursos ambientales y comprados, de combustibles, de la electricidad, para evaluar servicios, energía entrante por área, alternativas de desarrollo, energía de estados y naciones, de información, importaciones, servicios humanos, entre otros. Gracias a estos estudios, se ha generado una gran base de datos de la energía de muchos recursos, sistemas, procesos, productos y servicios, lo que permite tener cada vez mayores alcances de investigación mediante la aplicación de la síntesis emergética (Durand, 2016).

1.4.2.1. Calidad de la energía, energía y unidades de valor emergético.

La calidad de la energía se basa en que los diferentes tipos de energía varían en su capacidad para realizar trabajo. Un ejemplo muy utilizado para explicar este fenómeno es que 1 joule de carbón y 1 joule de electricidad, aunque representan la misma cantidad de energía (1 joule), no representan la misma calidad de

energía, ya que el potencial que tienen estos distintos tipos de fuentes de energía, actúan de forma distinta en un sistema al generar trabajo, por ejemplo algunos sistemas necesitarán recibir mayor o menor cantidad de energía, poco o mayor concentrada según sus necesidades para generar un trabajo específico.

La emergencia se define entonces como la energía solar usada directa o indirectamente para generar un producto o servicio. Es decir, es la cantidad de energía solar total que se invirtió o que es necesaria para generar ese bien o producto, las unidades de la emergencia son los joules equivalentes solares (seJ) . Así la unidad de emergencia solar es la medida de las contribuciones ambientales (de materiales, recursos energéticos y sociales) que se invirtieron para la obtención del producto o servicio .

La emergencia se traduce como “memoria energética”, pues se trata de calcular el costo en términos energéticos solares del conjunto de materiales y recursos usados en generar determinado producto o servicio (memoria de cuanto sol se invierte para la creación de ese producto o servicio). Se puede decir, entonces, que el valor emergético de un producto no es la energía que contiene el producto, sino la cantidad de energía que ha sido usada en la creación del producto o servicio.

Una expresión intensiva de la emergencia es la unidad de valor emergético (UEV), o la emergencia solar requerida directa o indirectamente para crear 1 J o 1 g de un producto o servicio (Saldini & Bastianoni, 2016). Para poder transformar las diferentes calidades de energía o materia a la calidad de energía solar correspondiente (o emergencia), se usa un factor de equivalencia, la transformidad o la emergencia específica, respectivamente, que informan qué cantidad de energía con calidad equivalente a la solar es necesaria para generar una unidad de energía o materia de mayor calidad. Por tanto, la transformidad tiene unidades de seJ/unidad de energía y la emergencia específica de seJ/unidad de masa (Lomas, Di Donato, & Ulgiati, 2007). Igualmente se define el valor emergético monetario expresado en seJ/\$ para analizar la influencia de los flujos monetarios que entran y/o retroalimentan a los sistemas.

Por ejemplo, si 4000 emjoules solares son requeridos para generar 1 joule de madera, entonces la transformidad solar de la madera es 4000 emjoules solares por joule (abreviado seJ/J) (Odum, Brown, & Brandt-Williams, 2000). Uno de los conceptos básicos detrás de la transformidad es que los sistemas transformantes de energía requieren una multitud de formas como reactantes (radiación fotosintéticamente activa, electricidad, calor de alta temperatura, energía química libre, etc.) para generar un producto energético con características diferentes a la de cada reactante, a menudo en múltiples dimensiones (fase química, densidad energética, densidad másica, color, contenido informativo, etc.). Típicamente las cadenas o redes energéticas de transformación en los sistemas están unidas de manera que las salidas de unas son las entradas de otras. Dado que la segunda ley de la termodinámica dicta que la energía útil generada en la salida tiene que ser menor que el total de energía en la entrada, la transformidad solar de las energías generadas incrementan con cada transformación en los sistemas (Tilley, 2014). En el Anexo 1 se ejemplifica lo antes expresado.

Las unidades de valor emergético constituyen una medida de la eficiencia ya que relaciona las entradas a una salida. A menor transformidad o emergía 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 (Brown & Ulgiati, 2004).

Este uso de transformidades calculadas en otros tiempos y para procesos que pueden estar en otras partes del mundo es molesto para algunos. De hecho, se sabe bien que no existe una sola transformidad para un producto, sino un rango de transformidades. Existe probablemente un límite inferior, bajo el que un producto no puede ser elaborado y existe un límite superior, en que, en teoría, uno pudiera producir maíz, por ejemplo, con una infinita cantidad de gasto de combustible y así tener una transformidad infinitamente grande. Para algunos

productos se han calculado varias transformidades en diferentes partes del globo y por diferentes maneras(Brown & Herendeen, 1996).

1.4.2.3.Principales fases para el análisis emergético.

Para la conducción de un análisis de ciclo de vida se sigue un procedimiento de 4 etapas:

- Definición de los límites espacio-temporales del sistema investigado.
- Modelación del sistema.
- Cálculo de los indicadores emergéticos
- interpretación de los resultados.

En la primera 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 encuantificación de insumos que consume el sistema y productos que proporciona (Valdés, 2017).

La modelación emergética consiste en la representación, a través de diagramas de flujos de materia y energía utilizando la simbología emergética, de la interacción entre las fuentes externas e internas del sistema, los sistemas productivos naturales y antrópicos, así como los flujos de salida del sistema y la retroalimentación del mismo (Lomas, Di Donato, & Ulgiati, 2007). Los componentes de los diagramas pueden ser de naturaleza físicas o propiedades como la información que, aunque usualmente es considerada intangible, requiere pequeñas energías para su almacenamiento y operación. Los flujos e interacciones pueden ser físicos como corrientes materiales, pero también de otro tipo como programas lógicos o mecanismos de control.

A efectos de simplificar la contabilidad, los modelos complejos se suelen resumir para capturar las principales entradas y salidas al sistema, así como otros flujos que explican, en gran medida, el funcionamiento interno del mismo.

Este paso, como se ha comentado, tiene una gran importancia, ya que organiza y agrupa los datos disponibles, lo que permite determinar los flujos e interacciones en el sistema, poniendo en evidencia los más relevantes así como posibles vacíos de información. La escala y el grado de detalle pueden variar en dependencia de

los objetivos y del tipo de socioecosistema. De la realización de un diagrama adecuado depende la bondad de los resultados (Lomas, Martín, Rodríguez, & Montes, 2006)

El modelado se compone de los siguientes pasos (Lomas, 2009):

- A partir de los límites del sistema se definen las principales entradas y salidas de energía del mismo y se clasifican según su naturaleza (biogeofísica, económica, humana, etc.), de izquierda a derecha en orden de transformidad creciente alrededor del símbolo de límites del sistema.
- Se definen los componentes internos del sistema y sus relaciones tanto con las entradas y salidas de materia y energía como entre ellos, teniendo cuidado de implicar 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.
- 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.
- Se incluye la degradación correspondiente a la segunda ley de la termodinámica.
- Se simplifica el diagrama según los objetivos del estudio mediante una agregación de categorías al nivel de detalle que se quiera llevar a cabo.

En la tercera etapa se calculan los indicadores emergéticos que son herramientas que permiten caracterizar los sistemas y al compararlos determinar cuáles son más eficientes en el aprovechamiento de los recursos. Para lograr una integración de todas las relaciones hombre-naturaleza, el análisis emergético separa las entradas de fuentes renovables de las no renovables y de las entradas importadas al mismo. Estas distinciones hacen posible definir los índices emergéticos, que proveen las herramientas para la toma de decisiones de sustentabilidad, especialmente cuando se tratan diferentes alternativas. Todos estos indicadores que se describirán a continuación cubren todos los aspectos de la sostenibilidad.

La transformidad (Transformity, Tr) es una medida de la eficiencia del sistema en estudio al compararse con otros sistemas productivos. A mayor valor de la

transformidad menor es la eficiencia ya que indica la cantidad de energía solar equivalente que el sistema requiere para producir un determinado producto. Indica la posición jerárquica de un artículo en la escala termodinámica de la biosfera y puede ser considerado como un factor de calidad desde el punto de vista de su dinámica .

La razón de renovabilidad (Renewability, % R) evalúa la sustentabilidad del sistema de producción. Está definido como la relación entre el contenido de energía de los recursos renovables (agua superficial o subterránea, lluvia, sedimentos, biodiversidad) dividido por el total de energía usada para obtener el producto y se expresa en porcentaje. De esta definición se deduce que los sistemas naturales tendrán valores altos de renovabilidad (cerca de 100%), mientras que valores bajos de renovabilidad indican mayor uso de recursos naturales no renovables para la obtención del producto (Sánchez, 2006).

La tasa de eficiencia energética (Emergy Yield Ratio, EYR), se define como la energía total utilizada por el producto (Y) dividida por la energía de los insumos de la economía (F). De manera general los sistemas consumen recursos tanto naturales como provenientes de la economía (obtenidos a partir de recursos naturales que fueron sometidos a procesos de transformación por otros sistemas). Un valor de EYR igual a la unidad indica que la energía liberada por el sistema es igual a aquella invertida con recursos de la economía; valores de EYR superiores a uno indican que el sistema fue capaz de disponer de energía primaria para la sociedad y cuanto mayor sea este valor menor la dependencia del sistema de la inversión económica y mayor es su competitividad. Por lo tanto, la tasa de eficiencia energética es una medida de la ganancia de energía primaria disponible para ser utilizada por la sociedad.

La razón de carga ambiental (Environmental Loading Ratio, ELR) es la relación entre la suma de los recursos no-renovables de la naturaleza (N) y los de la economía (F) por los recursos renovables de la naturaleza (R), también es adimensional. Cuando el valor del índice es alto, mayor será el impacto ambiental del sistema. También indica que los costos de producción son más altos por lo que su precio final se incrementará, haciendo que el producto o zonas productoras

sean menos competitivos en el mercado con una relación de carga ambiental más baja (Aguilar, Rosas, & Espinosa, 2015).

El Índice de sostenibilidad emergética (Environmental Sustainability Index, ESI) se define como la razón entre EYR y ELR y es una medida de la contribución potencial de un sistema (EYR) por unidad de carga ambiental o impacto ambiental (ELR) en el área que ocupa el sistema. Un valor del ESI igual a cero ocurre solo para aquellos ecosistemas que no han sido explotados (F igual a cero). Valores de ESI inferiores a 1 indican sistemas que consumen recursos y valores superiores a 1 sistemas que contribuyen con la liberación de recursos disponibles para el aprovechamiento por el sector económico sin afectar el equilibrio del medio ambiente.

1.4.2.4. Ventajas y desventajas del método.

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 y, (4) se basa en generalizaciones que permanecen sin probar (Voora, 2010).

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 galón de aceite de ballena no ha cambiado mientras su valor para los humanos sí. Además, dos pinturas con emergías 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 (Hau, 2004).

Además, ha sido discutido que la relación entre emergía y otras propiedades termodinámicas es cuando menos confusa y que la cuantificación de los flujos energéticos al combinar diferentes escalas de tiempo o espacios geográficos para determinar transformidades introduce cierta incertidumbre en los resultados. Sin embargo, otras metodologías con gran difusión, entre las más conocidas el Análisis de Ciclo de Vida (LCA), también son objetivo de ataques similares.

Ante las críticas de los economistas los “emergistas” alegan que el análisis energético 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 energética han tratado de comunicar la importancia del enfoque del método convirtiendo la emergía en emdólares. 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 emdólares 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 energéticos a los directores de políticas que basan sus decisiones en medidas monetarias (Voora, 2010).

La economía tradicional sostiene la visión de que la complejidad de los mercados económicos mundiales, con su integración global y aspectos como las deudas, derivados y demás, no están sujetas a limitaciones termodinámicas y que la cantidad de dinero puede ser incrementada indefinidamente a través del uso de instrumentos económicos, con poca o ninguna atención a las realidades biofísicas. Pero es evidente por las presentes acciones de los gobiernos del mundo, que están desplazando millones de personas, degradando el ambiente, haciendo guerras y creando “instrumentos económicos” (todo por continuar el control de países y sus recursos), que la circulación de dinero está en última instancia regida por el principio fundamental de que no se puede hacer trabajo sin el consecuente gasto de energía (Brown M. T., 2011).

Entonces, a pesar de estas críticas el uso de la metodología energética ha permitido: (a) investigar sistemas fuera de las actividades humanas, (b) conocer el

papel que los sistemas ecológicos tienen para el ser humano, (c) implementar una evaluación ligada a la aportación ambiental en lugar de la clásica evaluación desde el punto de vista del usuario, (d) evaluar procesos donde el soporte directo de materiales es pequeño pero el indirecto es grande, (e) tener en cuenta la escala temporal o memoria de los servicios usados, (f) evaluar la renovabilidad de los servicios, (g) evaluar la calidad de los servicios de un modo cuantitativo, (h) evaluar el impacto de procesos consistentes en unir flujos de baja y alta calidad, (i) incluir en la evaluación el trabajo humano y los servicios en bajo un marco común (Brown M. T., 2011) (Lomas, 2009).

Luego a modo de resumen algunas de las ventajas y desventajas del método son:

Ventajas

- Sólida base ecológica.
- Considera estructura, funcionamiento de cada tipo de ecosistema
Permite la interrelación de bases de datos que tradicionalmente se analizan de manera individual
- Consideración de las restricciones energéticas y termodinámicas de los sistemas. Aproximación desde la economía ecológica
- Consideración de distintos tipos de calidad energética
- Procedimiento estandarizado. Aplicación del metodocientífico. Conceptualización del sistema en modelos de uso general.
- Trabajo multidisciplinar
- Conmensurabilidad de valores. Utilización de unidades comunes para evaluar componentes naturales y socioeconómicos

Desventajas

- Excluye aspectos sociales. Necesidad de complementar con otros métodos para no caer en el “reduccionismo energético”.
- Necesidad de una sólida y amplia base de datos de partida que no siempre está disponible.
- Dificultad para incluir restricciones sociopolíticas de los sistemas.
- Aproximación ecocéntrica.
- Necesidad de uso de factores de conversión (transformicidades).

- Incertidumbre en los cálculos de algunos factores de transformicidad.
- Costo en tiempos y personal elevado.
- El concepto de valor no puede depender exclusivamente en la cantidad de energía necesaria para crear un determinado componente (hay que considerar otros factores como escases).

ΣΑΦΙΤΥΛΟ 2

CAPITULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1.Introducción.

En este capítulo se explica las consideraciones tomadas para la conducción de la investigación. Para ello se comienza caracterizando la empresa de materiales de la construcción de Cienfuegos y posteriormente la planta lavadora de arena El Canal. Luego se explica el proceso de beneficio de arena y el procedimiento metodológico para realizar un análisis emergético y de ciclo de vida en la planta. Se exponen las ecuaciones utilizadas y las limitaciones del estudio.

2.2. Caracterización general de la Empresa Materiales de Construcción Cienfuegos.

La Empresa de materiales de construcción de Cienfuegos fue creada por Resolución ministerial No 58/81 dictada con fecha 3 de enero del 81 y modificada por la resolución ministerial No. 123/2002. La EMC de Cienfuegos adscrita a MICONS como Empresa y perteneciente al grupo empresarial GEICON, su Oficina Central, se encuentra en calle 63 Km.3 Pueblo Grifo, Cienfuegos. La entidad está constituida por una dirección General de la Empresa; integrada por las direcciones de Producción, Contabilidad y Finanzas, Recursos Humanos, Equipos y Mecanización y Desarrollo Empresarial.

El objeto social de la empresa aprobado, tiene como objetivo general producir y comercializar áridos, así como otros materiales y productos utilizados en la construcción entre los que se destacan

- Mortero Cola.
- Carpintería de Madera.
- Elementos de Pared.
- Elementos de Piso.
- Elementos de Cerámica.
- Elementos de Terrazo.

Su misión consiste en producir y comercializar artículos y materiales de la construcción para sustentar el desarrollo constructivo del país con una calidad que satisfaga las exigencias del cliente, con bajos costo y resultados económicos

satisfactorios que se reviertan en el desarrollo técnico productivo de la empresa, el bienestar de sus trabajadores, preservando el medio ambiente.

Para esto sostienen la visión de alcanzar el liderazgo en el mercado interno en la producción y comercialización de materiales dedicados a la construcción, manteniendo elevados índices de calidad y bajos costos en las producciones con la

profesionalidad requerida y preservando el medio ambiente.

La EMCC en su estructura organizativa se subdivide en: Dirección General de Empresa, y 6 Unidades Empresariales de Base y Servicios.

- Dirección General de La EMCC.
- Unidad Empresarial de Base Arena.
- Unidad Empresarial de Base Hormigón.
- Unidad Empresarial de Base Cerámica.
- Unidad Empresarial de Base Transporte y talleres.
- Unidad Empresarial de Base Molino de Piedra.

La Unidad Empresarial de Base Arena, (inicialmente Combinado de Canteras Piedra-Arena), ubicada en Carretera Guaos km surge por la reorganización de las actividades productivas y la necesidad de la reestructuración directiva en la industria en respuesta a los programas del gobierno, agrupando por objeto social los centros productivos y ubicación territorial. La Unidad Empresarial de Base Arena Cienfuegos tiene tres centros de producción subordinados a la dirección general de la UEB:

- Establecimiento Fabrica de Bloques Guaos.
- Establecimiento planta lavadora de arena Arimao.
- Establecimiento planta lavadora de Arena El Canal, que será el objeto de estudio de la presente investigación .

2.2.1. Planta lavadora de arena “El Canal”.

La Planta Lavadora de Arena El Canal es un Establecimiento de la Unidad Empresarial de Base Arena. Ésta entidad surge en el mes de abril del año 1986 por la creciente necesidad de áridos para la construcción, iniciando con una plantilla de 22 trabajadores y con capacidad para realizar una producción promedio 90 000

m³anual; en la actualidad su productividad ha disminuido y produce promedio 70 000 m³anual. Esta entidad siempre ha pertenecido a la Empresa de Materiales de Construcción. Sus instalaciones ocupan un área de 2hectáreas.

La entidad se localiza a una distancia de 2,5 km al Norte de la ciudad deCumanayagua por la carretera que enlaza Cumanayagua con el poblado de Potrerillo, se ubica en las coordenadas 261932 y 581275 según el sistema Lambert, la instalación limita por el Norte con terrenos pertenecientes a la Empresa pecuaria El Tablón, por el Este con la carretera Cumanayagua Potrerillo, al Sur con el canal Paso Bonito Cruces y al Oeste con los terrenos de la Empresa Pecuaria El Tablón, señalado en la Figura 2.1. El relieve es ondulado, representado por el valle del rio Arimao, las líneas de drenaje fluyen de Norte a Sur hacia la cuenca hidrográfica de mayor importancia, el rio antes mencionado.



Figura 2.1.Localización geográfica de la planta lavadora El Canal.Fuente (Calzadilla, 2010).

2.2.2.Tecnología actual de beneficio de arena en la planta El Canal.

La tecnología de beneficio de arena existente en la provincia Cienfuegos, es de procedencia CAME, funcionan según el principio de decantación con tornillos como mecanismo de arrastre. Explotadas ambas con una capacidad de producción acorde con el cálculo de reserva realizado con el planímetro PLANIK 6-Tamaya Japón No.002661 confeccionado para garantizar la producción de arena beneficiada con clasificación final para obtener granulometría de 5mm hasta 0.15mm.

En la actualidad para ambas plantas su volumen de producción está por debajo de su capacidad de diseño inicial. Estas Plantas fueron montadas en los finales de la década del 70 e inicio de los 80. Su estructura y diseño inicial ha sido modificado por no existir piezas y equipos complementarios para su mantenimiento y reparación.

El proceso de beneficio de la arena se divide en cuatro etapas:

- Etapa de entrada de la arena natural a la tolva de alimentación.
- Etapa de proceso de lavado y clasificación preliminar.
- Etapa de proceso de relavado y clasificación final.
- Etapa de proceso del producto terminado y venta.

En la Figura 2.2 se muestra un esquema del proceso de lavado de la arena.

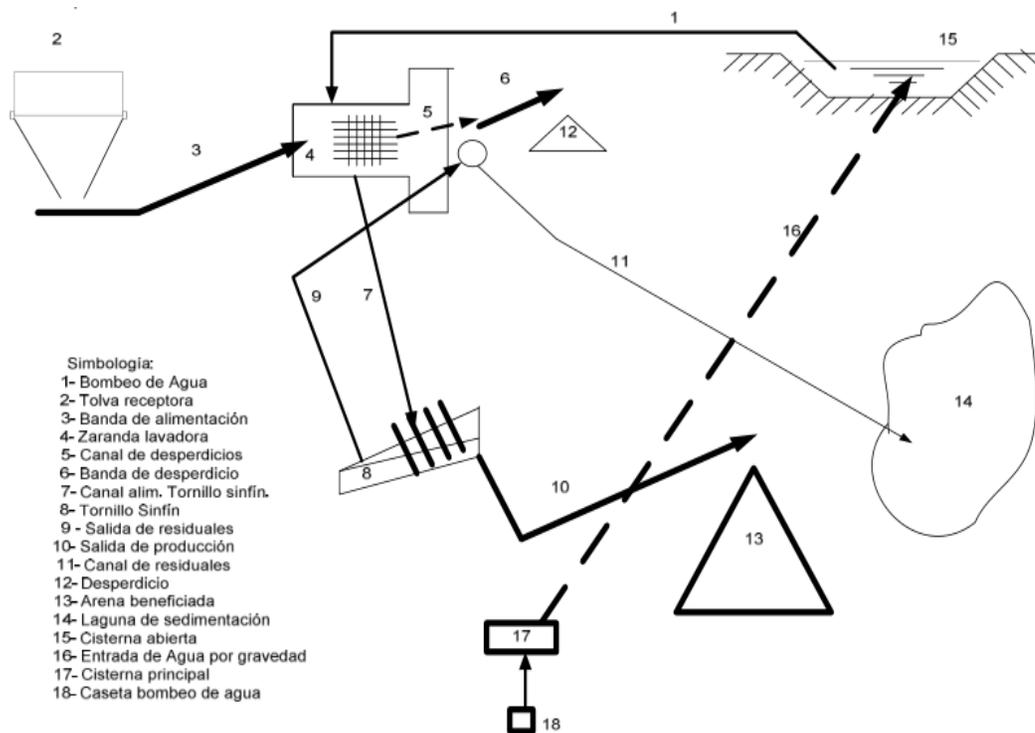


Figura 2.2 Proceso de lavado de arena en la planta El Canal. **Fuente** (Calzadilla, 2010).

En la etapa de alimentación la arena es depositada en la tolva de alimentación en cuya parte superior se encuentra una criba de barras fijas con abertura cuadrada de 200mm, posee una capacidad de 27 m³, el material alimentado es elevado a través de las bandas transportadoras hasta la zaranda lavadora.

La etapa de lavado y clasificación preliminar se realiza en la zaranda lavadora, donde el agua llega en forma de ducha a presión permitiendo el lavado y cernido de la arena a través del paño existente, donde inicialmente la fracción superior a 5mm es separada y pasa a través de un transportador de banda o cinta transportadora como desperdicio enviándola hasta el área del patio de acopio, el material cernido con granulometría menor que 5 mm pasa por una canal mezclado con el agua al tornillo lavador.

En el relavado el agua conjuntamente con el material cernido que llega a través de la canal al tornillo clasificador lavador de espiral (tornillo sin fin) por medio del movimiento de rotación y avance se produce el lavado y separación granulométrica en medio hidráulico, obteniendo como clasificación final (Granulometría 5-0,15 mm), Las fracciones menores son decantadas con el agua residual que sale del tornillo y por una tubería existente en la parte baja salen al canal de salida y esta lo vierte en las lagunas de sedimentación, donde ocurre un proceso de decantación del sólido sedimentable y el agua se vierte por reboso al río (cuerpo receptor).

En la etapa de almacenamiento y venta la fracción obtenida en la clasificación final (Granulometría 5mm- 0.15mm), es depositada en el patio donde se realiza para la certificación de calidad del producto el ensayo final de granulometría según NC-54/256(árido fino para la elaboración de hormigones) y debe cumplirse la norma NC-54/78(condiciones de acopio y operación de despacho para árido fino).

2.3. Materiales y métodos.

Para la realización de esta investigación se realizó un análisis documental sobre los métodos a utilizar y sobre el principio de funcionamiento de una lavadora de arena, además de explicar detalladamente los pasos a seguir para desarrollar el análisis de ciclo de vida y emergéti como se muestra a continuación.

2.3.1. Procedimiento para realizar un análisis de ciclo de vida.

El ACV cuantifica todas las emisiones relevantes y recursos consumidos y su relación con los impactos ambientales, a la salud y agotamiento de recursos que están asociados con los bienes o servicios ("productos").(Mora, 2012)

De acuerdo a la norma ISO 14 040 (2006), el ACV es un proceso en el que se reconocen las siguientes etapas en la Figura 2.3.

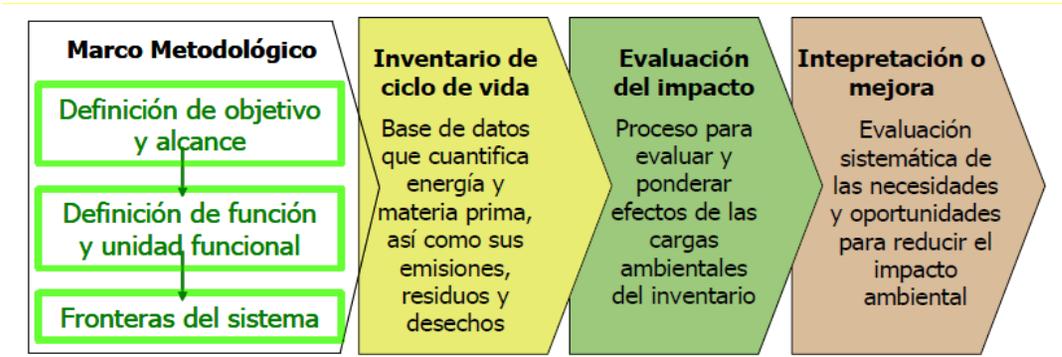


Figura 2.3. Etapas para realizar el análisis de ciclo de vida. **Fuente** Elaboración propia.

➤ ***Etapa 1: Definición de objetivos y alcance.***

En esta primera etapa deben definirse claramente el objetivo y alcance del estudio de ACV, de modo que sean consistentes con la aplicación que se persigue; para lo cual deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos en el orden que se plantean.

a) Definir el objetivo del estudio.

El objetivo de un estudio de ACV debe indicar la aplicación pretendida, las razones para realizar el estudio y el destinatario previsto, es decir, a quién se van a comunicar los resultados del estudio. Según(Suppen, 2005), en la definición del objetivo, deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

- La aplicación y las audiencias proyectadas se describen en forma clara. Eso es importante puesto que un estudio que tiene la intención de suministrar datos y que es aplicado internamente puede ser estructurado de una forma bastante diferente en comparación a un estudio que tiene la intención de efectuar comparaciones públicas entre dos productos o procesos.
- Las razones para la ejecución del estudio deben ser explicadas claramente. ¿Está el encargado o el actor tratando de comprobar algo? ¿Es la intención del encargado solo suministrar información?, etc.

b) Definir el alcance del estudio.

En la definición del alcance de un estudio de ACV se debe considerar y describir claramente: la unidad funcional, el sistema-producto a estudiar, los límites del sistema-producto, los procedimientos de asignación; los tipos de impacto y la metodología de evaluación de impacto, así como la consiguiente interpretación a utilizar; los requisitos iniciales de calidad de los datos. El alcance debe estar suficientemente bien definido para asegurar que la amplitud, profundidad y detalle del estudio sean compatibles y suficientes para alcanzar el objetivo del mismo.

b.1) Definir función y unidad funcional.

La unidad funcional debe ser consistente con el objetivo y alcance del estudio. Una unidad funcional es una medida del desempeño de las salidas funcionales de un sistema-producto. El propósito principal de una unidad funcional es proporcionar una referencia a partir de la cual sean (matemáticamente) normalizadas todas las entradas y salidas. Esta referencia es necesaria para asegurar la comparabilidad de los resultados del ACV, la cual es especialmente crítica cuando se analizan distintos sistemas para asegurar que tales comparaciones se hagan sobre una base común.

b.2) Definir los límites del sistema.

Los límites del sistema determinan el alcance de la investigación y los procesos unitarios que deben ser incluidos dentro del ACV. En esta etapa deben quedar definidos los límites geográficos, temporales y las etapas que serán excluidas del análisis.

Es útil describir el sistema utilizando árboles de procesos que muestren los procesos unitarios y sus relaciones, se debe definir a nivel unitario:

- Donde inicia el proceso unitario, en términos de entrada de materia prima y productos intermedios.
- La naturaleza de las transformaciones y operaciones que ocurren como parte del proceso unitario.
- Donde termina el proceso unitario, en términos del destino de los productos finales o intermedios.

Otro aspecto relevante asociado a la delimitación de los límites del sistema está relacionado a los límites para los cuales se considera inútil una entrada y salida al

sistema objeto de estudio. Según (Suppen, 2005) en la ISO 14041(2001) recomienda usar uno o más de las siguientes bases para tales límites:

- Si la masa de la entrada es inferior a cierto porcentaje. Por supuesto el problema es que eso solo funciona con materiales y no con las distancias de transporte y con energía.
- Si el valor económico de una entrada es menor a cierto porcentaje del valor total del sistema del producto. El problema con eso y el punto de vista anterior es que flujos con un valor bajo o con poca masa podrían tener impactos ambientales considerables.
- Si la contribución de una entrada a un problema ambiental es inferior a cierto porcentaje.

Este análisis sirve para limitar posteriores manipulaciones de aquellos datos de las entradas y salidas que son determinados como significativos para el objetivo del estudio de ACV. Los criterios y las suposiciones sobre los cuales ellos son establecidos deben ser descritos claramente.

b.3) Requisito de calidad en los datos.

Las descripciones de la calidad de los datos son importantes para comprender la fiabilidad de los resultados del estudio y para interpretar apropiadamente el resultado del estudio. Los requisitos de calidad de los datos deben ser especificados a fin de respetar el objetivo y alcance del estudio. Es necesario tener en cuenta descriptores que definan la naturaleza de los datos, tales como datos compilados en sitios específicos con relación a los datos de fuentes publicadas, y si es conveniente medir, calcular o evaluar los datos. Se recomienda que los datos de sitios específicos o los promedios representativos sean utilizados para los procesos unitarios que constituyen la mayor parte de los flujos de masa y de energía en los sistemas.

➤ ***Etapas 2: Análisis de Inventario.***

El análisis del inventario comprende la obtención de datos y los procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas relevantes de un sistema producto. Esas entradas y salidas pueden incluir el uso de recursos y las emisiones al aire, agua y suelo asociadas con el sistema. Las interpretaciones pueden sacarse de

esos datos, dependiendo de los objetivos y alcance del ACV. Cuando se obtienen los datos y se conoce mejor el sistema pueden identificarse nuevos requisitos o limitaciones relativos a los datos que hacen preciso un cambio en el procedimiento de obtención de los datos para que se pueda seguir cumpliendo el objetivo del estudio (Peña, 2009).

c) Recolección de los datos.

La cuantificación de los datos requiere del estudio detallado de todos los procesos unitarios y de todos los flujos elementales del sistema. Para evitar el olvido de datos o la repetición, se recomienda dejar plasmada la descripción de cada proceso unitario. Esto implica una descripción cuantitativa y cualitativa de las entradas y de las salidas necesarias para determinar el inicio, el fin del proceso unitario o de cualquier subsistema definido, así como la función del proceso unitario. Para esto, el Análisis de Inventario debe, en primera instancia, describir y simular el modelo particular del sistema del producto, luego realizar el balance general de todos los datos disponibles para la posterior asignación a cada categoría de impacto, en la etapa de Evaluación de Impactos. Por lo tanto, el Análisis de Inventario es el núcleo de ACV.

d) Construir los diagramas de procesos.

Partiendo del principio que los flujos de procesos van hacia otros procesos o al medio ambiente, la confección del diagrama de procesos (árbol de procesos) ayuda de forma gráfica a todo el proceso de organización de los datos, ilustrando todos los flujos de entrada y salida más relevantes. Es conveniente decidir cuáles entradas y salidas de datos son trazadas a otros sistemas producto, incluyendo las decisiones acerca de las asignaciones. Se recomienda describir el sistema con suficiente detalle y claridad para permitir a otro realizador reproducir el inventario. Las principales categorías de entradas y de salidas cuantificadas para cada proceso unitario dentro de los límites del sistema son:

- Entradas de energía, entradas de materias primas, entradas auxiliares, otras entradas físicas.
- Productos.

- Emisiones al aire, emisiones al agua, emisiones al suelo, otros aspectos ambientales.

Las entradas y salidas de energía deben ser tratadas como cualquier otra entrada o salida de un ACV. Las entradas y salidas de energía comprenden varios tipos: las entradas y salidas vinculadas a la producción y a la entrega de combustibles, energía de alimentación y energía de procesos utilizada dentro del sistema analizado. Las emisiones al aire, al agua o al suelo representan a menudo descargas desde fuentes puntuales o difusas, después de pasar a través de dispositivos de control de emisiones.

e) Procesar los datos.

En todo sistema de varios productos el cálculo del flujo de energía debería considerar los diferentes combustibles y fuentes de electricidad utilizados, la eficiencia de conversión y distribución del flujo de energía, así como las entradas y salidas asociadas a la generación y uso de dicho flujo de energía. Si no se conocen todos los datos del proceso se recomienda realizar balances de masa en cada etapa del proceso hasta contar con toda la información necesaria para el posterior desarrollo de la investigación.

➤ ***Etapa 3 :Evaluación de Impacto***

La evaluación de los impactos, es el proceso en el ACV que caracteriza y evalúa los efectos de las entradas y salidas identificadas en el análisis del inventario, con la finalidad de evaluar la importancia relativa de cada elemento del inventario y los potenciales impactos ambientales del proceso, producto o servicio bajo análisis en un indicador intermedio o final (Mora, 2012).

El propósito de la evaluación del impacto del ciclo de vida, es determinar la importancia relativa de cada elemento del inventario y agregar las intervenciones en un conjunto de indicadores, o de ser posible, en un solo indicador global. Este paso permite identificar aquellos procesos que contribuyen de manera significativa al impacto global, o comparar productos o servicios.

De acuerdo con la norma ISO 14 042, la evaluación de impactos de ciclo de vida (EICV) se produce a través de cuatros pasos; dos obligatorios y dos opcionales.

La clasificación de las categorías de impacto ambientales es un proceso obligatorio para el estudio ya que es donde se definen por su ruta e indicador de impacto y los flujos elementales del inventario se asignan a las categorías de impacto de acuerdo a las sustancias capaces de contribuir a los diferentes problemas ambientales.

La caracterización es obligatoria porque es donde se determina el impacto de cada emisión con el modelo cuantitativo asociado al mecanismo subyacente del medio ambiente. Se expresa como una puntuación de impacto en una unidad común a todas las contribuciones a la categoría de impacto (por ejemplo kg de CO₂ equivalentes de gases de efecto invernadero que contribuyen a la categoría de impacto cambio climático), aplicando factores de caracterización. Un factor de caracterización es una sustancia con un factor específico calculado con un modelo de caracterización para expresar el impacto de la corriente principal en términos de la unidad común del indicador de la categoría.

La normalización se puede realizar de acuerdo al usuario cuando las distintas puntuaciones de impacto se caracterizan, estas se relacionan con una referencia común, por ejemplo, los impactos causados por una persona durante un año, a fin de facilitar las comparaciones entre las categorías de impacto.

La ponderación y/o clasificación se realiza de las diferentes categorías de impacto ambiental que refleja la importancia relativa que se les asigne en el estudio. La ponderación puede ser necesaria cuando la compensación se produce en situaciones del uso del ACV para realizar comparaciones.

➤ ***Etapas 4. Interpretación y mejora del análisis:***

El ACV se finaliza con el análisis de todos los datos finales con respecto a sus significados, incertidumbres y sensibilidad sobre los resultados parciales. En esta última fase los resultados anteriores deben ser reunidos, estructurados y analizados. Aquí debe confeccionarse una estructura de análisis de los resultados, con un análisis de sensibilidad e incertidumbres, para que el conjunto de informaciones posibilite generar un informe con las conclusiones y recomendaciones, que pueda dar respuestas a las cuestiones que anticipadamente fueron definidas en los objetivos y alcance del estudio. La

interpretación es la fase de un ACV en la que se combinan los resultados del análisis del inventario con la evaluación del impacto, o en el caso de estudios de análisis del inventario del ciclo de vida, los resultados del análisis del inventario solamente, de acuerdo con el objetivo y alcance definidos, para llegar a conclusiones y recomendaciones. La fase de interpretación puede abarcar el proceso iterativo de examen y revisión del alcance del ACV, así como la naturaleza y calidad de los datos obtenidos de acuerdo con el objetivo definido. Aunque las acciones y decisiones subsecuentes pueden incorporar implicaciones ambientales identificadas en los resultados de la interpretación, se mantienen fuera del alcance del estudio de ACV, en tanto que otros factores, como la realización técnica y los aspectos económicos y sociales también se consideran y anticipadamente fueron definidas en los objetivos y alcance del estudio.

Reporte y análisis de mejoras.

En el reporte de la investigación ,según (Peña, 2009),deben reflejarse:

- Principales emisiones y desechos producidos durante el proceso productivo.
- Posibles problemas ambientales potenciales.
- Soluciones dadas para la minimización o tratamiento de estos residuos y desechos.
- Verificación de la disminución del impacto.
- Análisis de la factibilidad técnica y económica de la propuesta de mejora, si es posible.

2.3.1.1. Medios informáticos para realizar un Análisis de Ciclo de Vida.

Debido a la gran cantidad de datos que hay que manejar para realizar un ACV, es muy recomendable poder disponer de una herramienta informática que permita afrontar de forma eficiente un estudio de un ACV. Actualmente existe un buen número de programas informáticos en el mercado que permiten realizar estudios de ACV con distinto grado de detalle. A la hora de decidir qué programa adquirir, habrá que considerar diversos criterios. Uno de los puntos clave a valorar es el número de bases de datos que incorpora, su procedencia, calidad y extensión. Asimismo, es conveniente que el programa permita editar las bases de datos

existentes e importar con facilidad bases de datos nuevas que se puedan adquirir posteriormente. Además, habría que valorar la facilidad de manejo del programa en función de la aplicación que va a tener, la posibilidad de utilizar distintos métodos de evaluación de impactos, la trazabilidad de los resultados ofrecidos, la interfaz y las posibilidades gráficas que ofrece y evidentemente su coste económico. A partir de diversos estudios consultados para la documentación de este proyecto (Díaz Peña, 2009) ;(Montes de Oca Liste, 2011)(Zaman, 2010)(Quirós Vargas, 2014)y las experiencias de los expertos, está más extendida la utilización del software en sus distintas versiones, SimaPro Pre Consultans, dada las múltiples bases de datos que incorpora y por lo distintos métodos que utiliza para el análisis.

Sin embargo, en presente investigación se procederá a utilizar el software libre Open LCA versión 1.8 desarrollado por GreenDelta en Alemania en el año 2016 de utilización cada vez más creciente en estudios de ACV, donde sus principales características según (Buitrago , 2013) se refieren a continuación:

- El programa no cuenta con una base de datos para el inventario, pero se puede importar cualquier dato en formato Ecospold01, ILCD, Zolca, Excel o SimaPro CSV como es el caso de la base de datos Ecoinvent y la European Reference Life Cycle Database (ELCD).
- Permite la creación de nuevos flujos y procesos y maneja sistemas con más de 2000 procesos.
- Tiene la opción de crear o modificar métodos de análisis de impacto, por medio de la creación de nuevas categorías de impacto, flujos, o factores de normalización o ponderación.
- Permite la importación de los métodos de análisis de impacto presentes en la base de datos Ecoinvent, y permite la creación de nuevos métodos.
- Posee 3 métodos de asignación para procesos con múltiples productos de salida: método físico (masa, energía), económico y causal (factor individual para cada flujo).

2.3.1.2.Consideraciones realizadas en el análisis de ciclo de vida.

Para determinar los gases productos de la combustión para analizar el proceso de transporte de arena se emplearon las ecuaciones propuestas por (Pons, 2012) y las propiedades del diésel determinadas por los análisis de laboratorio de la empresa que suministra el combustible a la entidad como se aprecian en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Propiedades del diésel empleado para la transportación.

Elementos	% Peso
Carbono (C)	86.5
Dihidrógeno (H ₂)	13
Azufre (S)	0.05

Fuente. Refinería “Camilo Cienfuegos”

Se tomó como base de cálculo 100 kg de combustible; se supuso combustión completa y reacción estequiométrica. Primeramente, se determinó el oxígeno teórico que reaccionó con el combustible (W_o), a partir de la siguiente ecuación:

$$W_o = 2,67 * C + 8 * \left(H - \frac{O}{8} \right) + S \quad (Ec.2.1)$$

Con este valor se calculó la cantidad de aire teórico (W_{at}) como:

$$W_{at} = \frac{W_o}{0,232} = \quad (Ec. 2.2)$$

Luego se determinó la cantidad de CO₂ que va a emitir la combustión de este combustible a partir de la siguiente ecuación.

$$CO_2 = \left(\frac{44}{12} \right) * C1 \quad Ec. (2.3)$$

La fracción molar del carbono (C1) se determinó utilizando la siguiente expresión.

$$\left(\frac{C}{100} \right) * 100 = C1 \quad Ec. (2.4)$$

Donde

Cantidad de carbono (C)

2.3.2. Análisis emergético.

La Metodología Emergética es empleada para evaluar las relaciones de un sistema con el medio ambiente y las actividades antrópicas. Para su aplicación se comienza por definir los límites espacio-temporales del sistema y modelarlo

mediante la simbología emergética para describir sus características principales. Posteriormente se realiza un balance energético que tributa a la construcción de una tabla en la que se resume los flujos de las principales corrientes para luego multiplicarlas por sus transformidades u otras unidades de valor emergético (UEV) previamente identificadas convirtiéndolas en valores emergéticos. Luego se calculan y analizan diferentes índices que brindan información en cuanto a la sostenibilidad del sistema lo que permite comprender sus potencialidades y deficiencias. Los indicadores pueden servir tanto para realizar una evaluación del sistema como para comparar alternativas y su efectividad.

➤ ***Límites espacio-temporales del sistema***

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 (Valdés, 2017).

➤ ***Modelación con la simbología emergética***

El punto de partida de la síntesis emergética como un nuevo campo de estudio es que se pueden comparar diferentes tipos de energía utilizando factores de conversión que muestran la cantidad de tipos de energía equivalentes. Al conectar diferentes tipos de energía se puede asociar varias partes y visualizar la complejidad de una manera sencilla, a través del uso de diagramas, a partir de los que se hacen cálculos de flujos y depósitos (Odum, 1996). La metodología ha sido usada para modelar y analizar diversos sistemas desde ecológicos, agrícolas hasta industriales y sociales.

En la medida que se refinó la teoría Odum y sus colaboradores desarrollaron una simbología similar a otros sistemas de modelación, con analogías a lenguajes de programación para aprovechar las similitudes de los sistemas objeto de estudio,

permitiendo una representación más estandarizada y comprensible de los mismos. El primer paso de cualquier evaluación es dibujar el diagrama sistémico energético para identificar las entradas a ser evaluadas. Los ítems y flujos son ordenados de izquierda a derecha en orden de emergencia (Odum, Brown, & Brandt-Williams, 2000). Un ejemplo general de este tipo de diagrama se expone en la Figura 2.4. Por otra parte, aunque el sistema tenga características distintivas a razón a flujos energéticos, las entradas podrán ser agrupadas como recursos renovables (R), recursos no renovables (N) y procedentes de la economía, adquiridas como bienes y servicios comprados (F) como se observa en la Figura 2.5

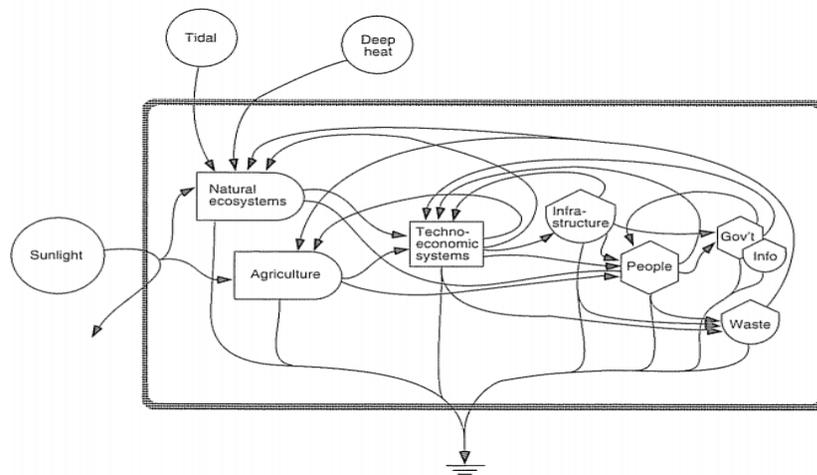


Figura 2.4. Ejemplo de diagrama emergético. Fuente. (Brown & Ulgiati, 2004).

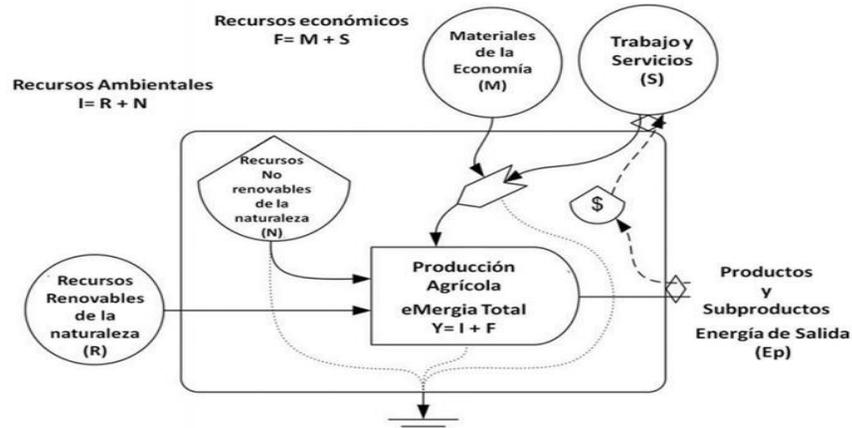


Figura 2.5. Clasificación de los recursos. Fuente. (Aguilar, Rosas, & Espinosa, 2015).

Hay que destacar que en dependencia de los límites del sistema y de las consideraciones tomadas por el evaluador puede haber más de una salida de las

unidades transformadoras de energía. Estas salidas pueden ser separaciones (splits) o co-productos. En los splits el empoder (seJ/tiempo) es dividido pero la transformidad y la energía por masa es la misma. En los co-productos la energía es la misma pero los flujos energéticos y las transformidades son diferentes. La manera de representar los splits y co-productos se muestra en la Figura 2.6.

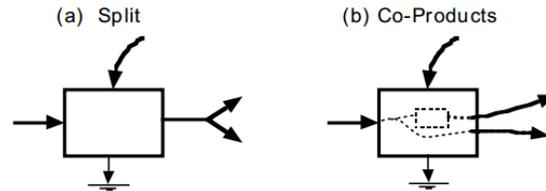


Figura 2.6. Representación de *splits* y co-productos. **Fuente.**(Odum, Brown, & Brandt-Williams, 2000).

La diferencia entre co-productos y splits es importante. Muchos procesos producen más de una salida (por ejemplo, la agricultura produce tallos y espigas de maíz, un aserradero produce madera y polvo, o un proceso manufacturero que produzca un bien y un ‘residuo’ de co-producto). Cuando un proceso proporcione dos o más salidas, no puede producir una sin generar la otra; por lo que el total de entrada energética es asignada a cada salida. Cada una es requerida y cada una requiere el total de entrada energética para su producción (Brown & Herendeen, 1996). Esto conlleva a que en los balances energéticos la energía que entra a un sistema puede o no conservarse.

➤ **Cálculo de indicadores energéticos**

Dado que la energía es igual a la energía disponible por su transformidad (ecuación 2.5), la aplicación práctica del análisis energético requiere información de ambos. Mientras la información sobre el contenido energético de los flujos económicos y medioambientales está ampliamente disponible, las transformidades de esas cantidades son a menudo desconocidas o estimadas con aproximaciones de primer orden. Como resultado, información precisa sobre las transformidades de las cantidades y flujos del sistema bajo estudio es a menudo el factor limitante en desarrollar la evaluación energética.

$$Energy(sej) = Available Energy \times Transformity \left(\frac{sej}{j} \right) \quad Ec. (2.5)$$

Las reglas para manejar co-productos y retroalimentaciones fueron por primera vez referidas como álgebra emergética por (Scienceman, 1987). Un planteamiento sistemático de estas fue provisto en el capítulo seis del libro “Environmental Accounting. Energy and Decision Making” (Odum, 1996) y una comparación entre los cálculos emergéticos y de la energía incorporada (embodied energy) puede verse en el artículo “Embodied energy analysis and EMERGY analysis: a comparative view” (Brown & Herendeen, 1996). Luego las reglas del álgebra emergética pueden ser resumidas como.

- Para un proceso en estado estable, todos los flujos emergéticos de entrada son asignados a los flujos de salida.
- Cuando hay más de una salida (co-productos) del proceso cada una porta el total de flujo emergético de entrada del proceso, pero las transformidades y demás unidades de valor emergéticos son diferentes para cada una de estas corrientes.
- Cuando una salida se divide (splits) en dos o más corrientes del mismo tipo, el flujo emergético es dividido en cada corriente basado en la fracción del total de energía o flujo de materiales de la corriente; por consiguiente, la transformidad y la energía específica es la misma para cada una de las separaciones (splits).
- La energía de los flujos de retroalimentación no pueden ser contadas puesto que de sumarse algebraicamente daría una energía mayor que la de la fuente de la que fueron derivadas.

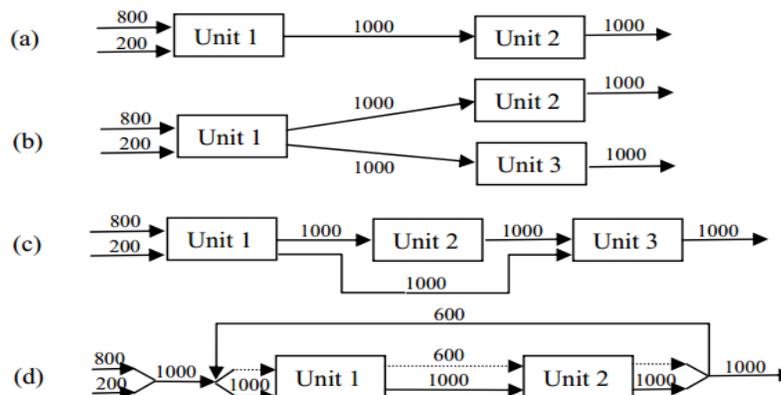


Figura 2.7. Ejemplos del uso de las reglas emergéticas. **Fuente.**(Sha, Melin, & Hurme , 2013).

Construcción de la tabla emergética

Una vez determinado el balance energético del sistema se procedió a la construcción de la tabla emergética. Usualmente esta tiene siete columnas como se muestra en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Tabla de contabilidad emergética.

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

Fuente:(Lomas, 2009).

La columna 1 “nota” se refiere al orden en que cada uno de los flujos está colocado, así como al orden de la nota a pie de tabla en la que se refiere el origen del dato y los cálculos realizados para su transformación a las unidades correspondientes. La columna 2 se refiere al nombre del flujo evaluado. La columna 3 es la cifra proporcionada por los cálculos elaborados para cada flujo, que figuran numerados al pie de la tabla, en sus unidades correspondientes, que se encuentran en la columna 4. La columna 5 se refiere a la emergía por unidad (transformidad o energía específica), que transforma las cifras de la columna 3, en las cifras de la columna 6, que ya son referidas a emergía solar. Por último, la columna 7 se refiere al denominado valor macroeconómico, o cantidad de actividad económica que se mueve debido a un determinado flujo o reserva de emergía y que se calcula dividiendo su emergía por la cantidad de actividad económica media movida por el total de emergía del sistema o relación emergía-dinero. Las últimas filas se reservan para los productos del sistema (exportaciones, población, productos monetarios, etc.) y los cálculos relativos a su transformidad, emergía total, etc(Lomas, Di Donato, & Ulgiati, 2007).Sin embargo,

dados los pocos estudios energéticos que hay en Cuba y la incertidumbre que introduce el uso de dos monedas en el país no se desarrolló el análisis del valor macroeconómico.

Para una mayor comodidad los valores de los productos, sus transformidades y energías específicas fueron representados en otra tabla. En la tabla energética se agruparon los recursos naturales renovables (R) y no renovables (N), así como los adquiridos de la economía (F) para el posterior cálculo de indicadores. Los recursos recibidos de la economía a su vez se separaron en materiales (M) y servicios (S). De esta manera para cuantificar el consumo de recursos de la naturaleza (I) y de la economía (F) se usaron las ecuaciones :

$$R = \sum_{i=1}^n \text{Recursos renovables} \quad \text{Ec. (2.6)}$$

$$N = \sum_{i=1}^n \text{Recursos no renovables} \quad \text{Ec. (2.7)}$$

$$I = R + N \quad \text{Recursos de la naturaleza} \quad \text{Ec. (2.8)}$$

$$M = \sum_{i=1}^n \text{Materiales de la economía} \quad \text{Ec. (2.9)}$$

$$S = \sum_{i=1}^n \text{Servicios de la economía} \quad \text{Ec. (2.10)}$$

$$F = M + S \quad \text{Adquiridos de la economía} \quad \text{Ec. (2.11)}$$

$$Y = I + F \quad \text{Emergia total que entra al sistema} \quad \text{Ec. (2.12)}$$

Como ha sido establecido anteriormente el análisis energético 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 del método. Los indicadores usados en este trabajo y la manera de calcularlos e interpretarlos aparecen detallados a continuación:

Transformidad y emergía específica

La transformidad (Tr) es la relación entre la emergía total que ingresa en el sistema (Y) y la emergía de los productos que salen (Ep), su unidad es en seJ/J. Este índice revela una cualidad del sistema, cuanto mayor transformidad más emergía se requiere para generar productos. Puede interpretarse como el valor inverso de la eficiencia de un agroecosistema (Aguilar, Rosas, & Espinosa, 2015). En la ecuación se muestra su cálculo.

$$Tr = \frac{Y}{Ep} \quad Ec. (2.13)$$

La emergía específica se define como la emergía total (Y) por unidad de masa de los productos de salida (P) por lo que su unidad es usualmente seJ/g. Como la energía es requerida para concentrar los materiales esta unidad de valor emergético (UEV) incrementa con la concentración de las sustancias. Los elementos y compuestos poco abundantes en la naturaleza por consiguiente tienen una emergía específica mayor cuando se encuentran concentrados dado que más trabajo fue requerido para concentrarlos, espacial y químicamente (Brown & Ulgiati, 2004). Su interpretación es similar al de la transformidad lo que en términos de masa. Tanto la transformidad como la emergía específica permite realizar comparaciones en términos de cuanto más o menos invierte un sistema para producir un bien. Esta es calculada a través de la ecuación.

$$Em = \frac{Y}{P} \quad Ec. (2.14)$$

Razón de renovabilidad (Renewability Ratio, % 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. O sea,

el medio ambiente debe ser capaz de reponer los recursos necesarios para la continuidad del proceso. Su cálculo se lleva a cabo mediante la ecuación.

$$\%R = \frac{R}{Y} \times 100 \quad \text{Ec. (2.15)}$$

Razón de eficiencia energética (Energy Yield Ratio, EYR)

La razón de eficiencia energética (EYR) es una medida de la habilidad del proceso para explotar y hacer disponible los recursos naturales por la inversión externa. Provee una mirada al proceso desde una perspectiva diferente ya que analiza la apropiación de los recursos locales lo que se interpreta como una contribución adicional a la economía. El valor menor posible del EYR es 1, que indica que un proceso entrega la misma cantidad de energía que fue provista para su operación por lo que no fue capaz de explotar recursos naturales. Por consiguiente, procesos con EYR iguales a 1 o ligeramente superior no retroalimentan a la economía significativamente en términos energéticos y solo transforman recursos que estaban disponibles de procesos previos por lo que, al hacer esto actúan más como procesos consumidores que como procesos creadores de oportunidades para el crecimiento del sistema (Brown & Ulgiati, 2004). La ecuación muestra la manera de calcular este índice.

$$\text{EYR} = \frac{N + R + F}{F} \quad \text{Ec. (2.16)}$$

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. Es decir, cuanto mayor es este índice, mayor será la contribución de los recursos locales (renovables y no renovables) al sistema. EYR<5 indica que en el proceso se utilizó una gran cantidad de recursos energéticos secundarios; materias primas como cemento, acero entre otros y EYR>5 indica la utilización de recursos energéticos primarios (petróleo, carbón, gas natural, uranio, etc.) 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 (Environmental Loading Ratio, ELR)

La razón de carga ambiental (ELR) 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. En cierta medida, el ELR es una medida de la perturbación a la dinámica medioambiental local, generada por el desarrollo conducido por el exterior. El ELR claramente establece una diferencia entre recursos renovables y no renovables así que complementa la información provista por la transformidad (Brown & Ulgiati, 1997). Para su cálculo se utiliza la ecuación.

$$ELR = \frac{N + F}{R} \quad \text{Ec. (2.17)}$$

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. Este índice es alto para sistemas con altas entradas no renovables o con altas emisiones al ambiente y aquellos procesos muy tecnológicos (Gálvez, 2016).

Índice de sostenibilidad energética (Environmental Sustainability Index, 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 (ESI) es útil para medir la apertura y los cambios de carga ocurridos a través del tiempo en procesos tecnológicos y economías (Brown & Ulgiati, 2004). Este índice se determina usando la ecuación.

$$ESI = \frac{EYR}{ELR} \quad \text{Ec. (2.18)}$$

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 (Cano, Gallego, & Velásquez, 2014).

2.3.1.2 Consideraciones realizadas en el análisis emergético.

Para esta investigación el valor de transformidad para el aire en la bibliografía consultada no aparece referida a unidades másicas sino en unidades energéticas pues se utilizó la ecuación para este cálculo con una temperatura de 300K. Para esa temperatura su capacidad calorífica (C_p) es 1,007kJ/kg(Incropera, 2007).

$$Aire \left(\frac{J}{año} \right) = \left[Aire \left(\frac{kg}{año} \right) \cdot C_p \left(\frac{kJ}{kg \cdot K} \right) \cdot T(K) \right] \cdot \frac{1000 J}{1kJ} \quad Ec. (2.19)$$

A partir de la cantidad de obreros de la fábrica y las horas trabajadas en un año alrededor de 2304 h y estimando que los obreros trabajan 8 horas al día, además que una persona consume 2 500 kcal de energía metabolizada/día se calcula mediante la ecuación 2.10 la labor humana.

$$Labor \left(\frac{J}{año} \right) = \left(Cantidad\ obreros * h/año / 8 \frac{h}{día} \right) \cdot 2500 \frac{kcal}{día} \cdot 4186 \frac{J}{kcal} \quad Ec. (2.20)$$

Tanto la cantidad de combustible, electricidad y agua consumida durante el proceso de lavado de arena se calcularon utilizando varios indicadores proporcionados por la entidad, así como resultados del trabajo de (Rodríguez Pérez, 2019).

ΣΑΦΙΤΥΛΟ 3

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1.Introducción.

En este capítulo se analizan los resultados obtenidos a partir de los procedimientos y ecuaciones declaradas en el capítulo anterior. Se modela el sistema mediante la simbología emergética, se calculan indicadores y analiza el impacto por concepto de emisiones considerando el ciclo de vida del producto. Finalmente se aborda como con la introducción de la tecnología de filtración este puede ser mejorado, lo que queda reflejado en ambos métodos de evaluación de impacto ambiental.

3.2. Análisis emergético.

El sistema objeto de estudio fue la planta lavadora de arena “El Canal” que para la producción de arena se divide en la planta de lavado de arena y extracción en mina que componen en su totalidad la planta de beneficio de arena, por lo que las corrientes de entradas para el proceso principalmente son: agua, aire para la combustión, combustible, lubricantes, servicios procedentes de la economía y la labor humana. Como producto se obtiene únicamente arena. Hay que destacar que solo se consideró la fase de explotación del sistema y no así las fases de construcción y desmontaje. Para evaluar este proceso se utilizaron valores promedio de las corrientes en el período 2016/2018, proporcionados en su mayoría por los departamentos de la empresa. En el Anexo 2 se observa la variación de la producción de arena para cada año analizado.

Para la representación del diagrama emergético se identificaron los principales flujos de entrada y salida, así como los componentes internos del proceso, las transacciones de dinero correspondientes al uso económico y la degradación de la energía como se puede apreciar en la Figura 3.1. Este diagrama permite visualizar las interacciones que existen entre los flujos del proceso.

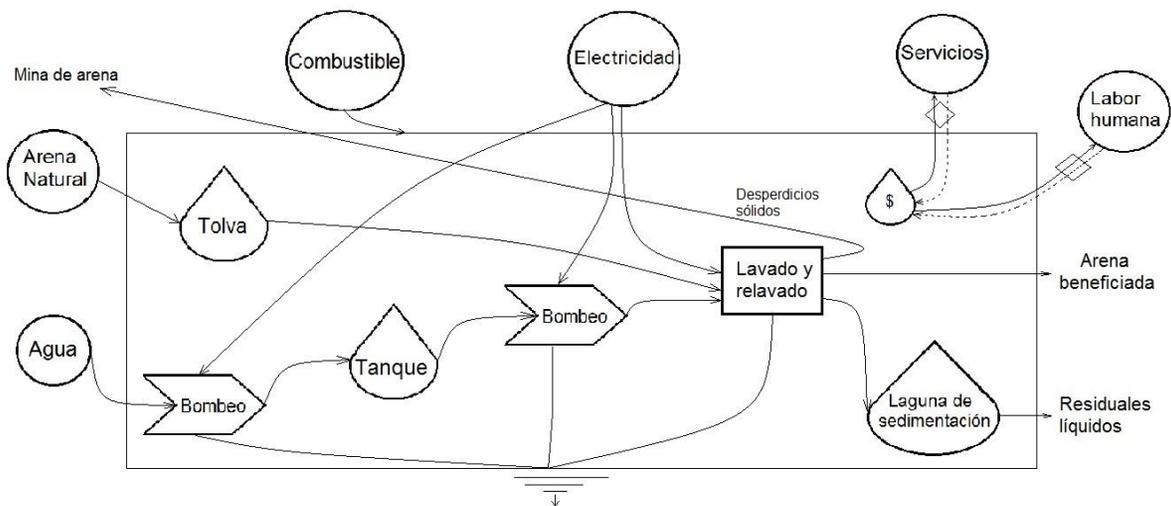


Figura 3.1. Diagrama de proceso energético. Fuente Elaboración propia.

Para la construcción de la tabla emergética primero fueron identificados las unidades de valor emergético de las principales corrientes del sistema, pudiéndose apreciar en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Unidades de valor emergético utilizadas en la investigación.

Transformidad	Unidad	Valor	Referencia
Aire	seJ/J	9.82E+02	(Valdés, 2017)
Agua	seJ/J	5.43E+09	(Buenfil, 2001)
Arena	seJ/g	1.68E+09	(Odum, 1996)
Electricidad	seJ/J	7.94E+05	(Prenzuela Díaz, 2019)
Combustible	seJ/g	2.83E+09	(Bastianoni & Campbell, 2009)
Labor humana	seJ/J	3.93E+06	(Giannetti & Prevez, 2016)
Gastos en mantenimiento y Lubricantes	seJ/\$	4.6E+12	(Valdés, 2017)

Fuente. Elaboración propia.

Una vez conocidas las transformidades de los principales flujos del sistema se procedió a la construcción de la tabla emergética del mismo (Tabla 3.2). Donde se clasifican los diferentes flujos en recursos renovables y no renovables de la economía y materiales y servicios de la economía. Hay que destacar que durante la revisión bibliográfica se encontraron para algunas corrientes varias unidades de valor emergético por lo que fue necesario seleccionar las aquí mostradas. Para

esto se tomó en consideración las características de los sistemas de las que fueron calculadas.

Tabla 3.2. Tabla emergética para la Planta Lavadora de Arena El Canal.

Flujo	Dato	Unidad	Transformidad (seJ/Unidad)	Emergía (seJ/año)
Renovables [R]				3.92E+18
Agua	3.79E+11	g/año	3.23E+05	1.23E+17
Aire	3.87E+11	J/año	9.82E+06	3.80E+18
No renovables [N]				4.04E+20
Arena natural	2.40E+11	g/año	1.68E+09	4.04E+20
Materiales de la economía [M]				7.81E+17
Electricidad	6.31E+11	J/año	7.94E+05	5.01E+17
Diésel	9.89E+07	g/año	2.83E+09	2.80E+17
Servicios de la economía [S]				2.96E+17
Gastos por mantenimiento	6.18E+04	\$/año	4.60E+12	2.84E+17
Labor humana	3.01E+09	J/año	3.93E+06	1.18E+16
Aporte de la economía [F]				1.08E+18
Emergía Total				4.09E+20

Fuente. Elaboración propia.

Se destaca que los valores de las transformidades y demás unidades de valor emergético de los diferentes ítems son congruentes con el principio de que mientras más esfuerzo (transformaciones) requiere la obtención de un producto mayor será su transformidad (Anexo 1). El mayor valor de emergía deriva de los recursos no renovable de la naturaleza, representan un 98.777 %, este resultado se debe a que este recurso posee una unidad de valor emergético (emergía específica) relativamente elevada y también un gran flujo que es la principal materia prima utilizada en el proceso de lavado.

El principal flujo emergético al proceso proviene de la naturaleza (4.08E+20seJ/año) representando un 99.7 % de la emergía total mientras que el

aporte de la economía ($1.08E+18$ seJ/año) representa el 0.00263 %. En la Figura 3.2 se puede ver la relación porcentual de las cuatro categorías analizadas.



Figura.3.2. Proporción de la energía total por categoría.**Fuente.** Elaboración propia.

En la Tabla 3.3 se muestran los indicadores energéticos del proceso. Se obtuvo que la razón de renovabilidad ($\% R$) = 0.959 % y la razón de eficiencia energética $EYR=380$ lo que indica que el sistema presenta un gran aporte a la economía local, sin embargo, no tiene una gran explotación de los recursos renovables. Por otra parte, el alto valor de la razón de carga ambiental $ELR=103$ indica que la UEB Planta lavadora de arena “El Canal” presenta un alto impacto ambiental dado principalmente por la explotación de elevados flujos del recurso no renovable arena. El índice de sostenibilidad energética (ESI) indica que a largo plazo el sistema no es sostenible por sí mismo ($ESI < 5$), no obstante, el valor obtenido ($ESI=3.6773$) da una medida que el sistema contribuye a la economía con un producto como la arena beneficiada, la cual ha sido de gran importancia para el desarrollo de la industria de la construcción. Este valor del índice de sostenibilidad energética da una medida de que existe parcialmente un adecuado aporte a la economía por unidad de carga ambiental impuesta al ecosistema local y que debe vigilarse de cerca no tender a una sobreexplotación de los recursos mineros evitando grandes estreses sobre el medio ambiente.

Tabla 3.3. Indicadores energéticos para el sistema objeto de estudio.

Indicadores	Valores
Razón de renovabilidad (%R)	0.959%
Razón de eficiencia energética (EYR)	380
Razón de carga ambiental (ELR)	103
Índice de sostenibilidad energética (ESI)	3.6773

Fuente. Elaboración propia.

El producto obtenido en este proceso es arena beneficiada. A partir de la tabla energética se calculó su energía específica, como se puede apreciar en la Tabla 3.4, la que sirve como base para posteriores investigaciones dado que, por su desconocimiento, en muchas ocasiones, no se puede incluir la fase constructiva en los análisis energéticos realizados en Cuba.

Tabla 3.4. Energía específica del producto obtenido.

Producto	Producción	Unidad	Energía específica(seJ/g)
Arena lavada	7.60E+10	g/año	5.3830E+09

Fuente. Elaboración propia.

3.3. Análisis de ciclo de vida.

3.3.1. Etapa 1. Definición de objetivo y alcance del estudio.

En el caso de esta investigación, el objetivo perseguido es determinar el impacto ambiental de la producción de arena.

Como unidad funcional en este estudio se tomó 1m³ de la cantidad de arena producida en la planta. Los límites del sistema se definen según la información que se tiene y los objetivos que se pretenden alcanzar definidos anteriormente.

Como sistema de fronteras se tomará desde que comienza el proceso de extracción del mineral en el yacimiento, hasta que es procesado y dispuesto a continuación para la venta, se analizarán ambos procesos porque en ambos ocurre una gran cantidad de contaminación ambiental, además de que hay grandes cantidades de flujo de entrada y salida.

Para la realización de esta investigación se utilizaron los datos proporcionados por la empresa a partir de la producción analizada de la planta lavadora de arena promediados cada uno de acuerdo a 3 años de producción (2006/2018).

3.3.2. Etapa 2. Análisis de inventario.

En este análisis se recopilaron todos los datos mediante una búsqueda en la base de datos de la empresa, ya que era necesario obtener fichas de años atrás. El proceso de producción de arena en la planta “El Canal” se explica con detalle en el epígrafe 2.2.2 por lo que la Tabla 3.4 muestra los resultados de la información recopilada de los flujos que intervienen en el proceso. Como la unidad funcional está representada por 1m³ pues estos datos deben estar expresados según esta unidad para su posterior modelación.

Tabla.3.4. Datos de entradas y salidas en la planta de lavado de arena.

Flujos de entrada	Unidad	Valores	Datos expresados según 1m³
Agua cruda	m ³ /año	224249.3	3.3
Combustible	kg/año	88199.32	1.298
Electricidad	kW/año	156295	2.3
Aire para la combustión	kg/año	1280847.58	8.4303
Arena natural	m ³ /año	104548,7	1.31679
Flujos de salida			
Arena beneficiada	m ³ /año	67954.33	1.00
Emisiones gaseosas			
CO ₂	kg/año	1062011	0.5021

Fuente. Elaboración propia.

➤ **Procesamiento de los datos.**

Con toda la información necesaria para el estudio y el cumplimiento de los objetivos planteados se procede a incluir los datos en el software OpenLCA 1.8, para evaluar el impacto ambiental de la producción de arena beneficiada.

3.3.3. Etapa 3. Evaluación de impactos.

A partir de la recopilación de datos se pudo realizar la evaluación de las diferentes categorías de impacto ambiental, empleando para ello el método ReCiPe *Midpoint H*. Para ello fueron usadas las bases de datos ELCD y el software Open LCA 1.8. En la Tabla 3.5 se muestran los datos de caracterización y normalización para cada categoría de impacto. Como las categorías de impacto por el método ReCiPe *Midpoint H* evalúa los daños según una sustancia de referencia pues es necesario multiplicar cada resultado por un valor de normalización.

Tabla 3.5. Valores resultantes de la ponderación de las categorías de impacto por el método ReCiPe *Midpoint* H.

Categorías de impacto	Unidad	Resultado	Valor de normalización	Valor normalizado
ecotoxicidad de agua dulce	kg 1,4-DCB-Eq	0.00311	235	1.32E-05
agotamiento de ozono	kg CFC-11-Eq	6.51E-06	8	8.14E-07
ecotoxicidad Terrestre	kg 1,4-DCB-Eq	0.00421	155	2.72E-05
eutrofización marina	kg N-Eq	0.00125	112	1.12E-05
formación de oxidantes fotoquímicos	kg NMVOC	0.03789	202	1.88E-04
formación de partículas en suspensión	kg PM10-Eq	0.07537	716	1.05E-04
toxicidad humana	kg 1,4-DCB-Eq	8.02127	835	9.61E-03
radiación ionizante	kg U235-Eq	5.3227	766	6.95E-03
acidificación terrestre	kg SO2-Eq	0.36822	264	1.39E-03
cambio climático	kg CO2-Eq	0.83401	146	5.71E-03
agotamiento del agua	m3	3.00575	93	3.23E-02
ecotoxicidad marina	kg 1,4-DCB-Eq	0.01778	756	2.35E-05

Fuente. Elaboración propia.

En la Figura 3.3 se puede observar el consumo de combustible, electricidad y agua constituyen los flujos que más contribuyen a las diferentes categorías de impacto. Además, como se podrá observar este proceso solamente genera impactos ambientales perjudiciales. Los principales impactos ambientales son la toxicidad humana, radiación ionizante, acidificación terrestre, cambio climático y el mayor impacto es agotamiento del agua la cual es la base de la vida en nuestro planeta, y hoy en la actualidad hay gran parte de la población mundial que se ve afectada por la ausencia de este recurso. Para mi entender considero que el agua en nuestro país esta subvalorada.

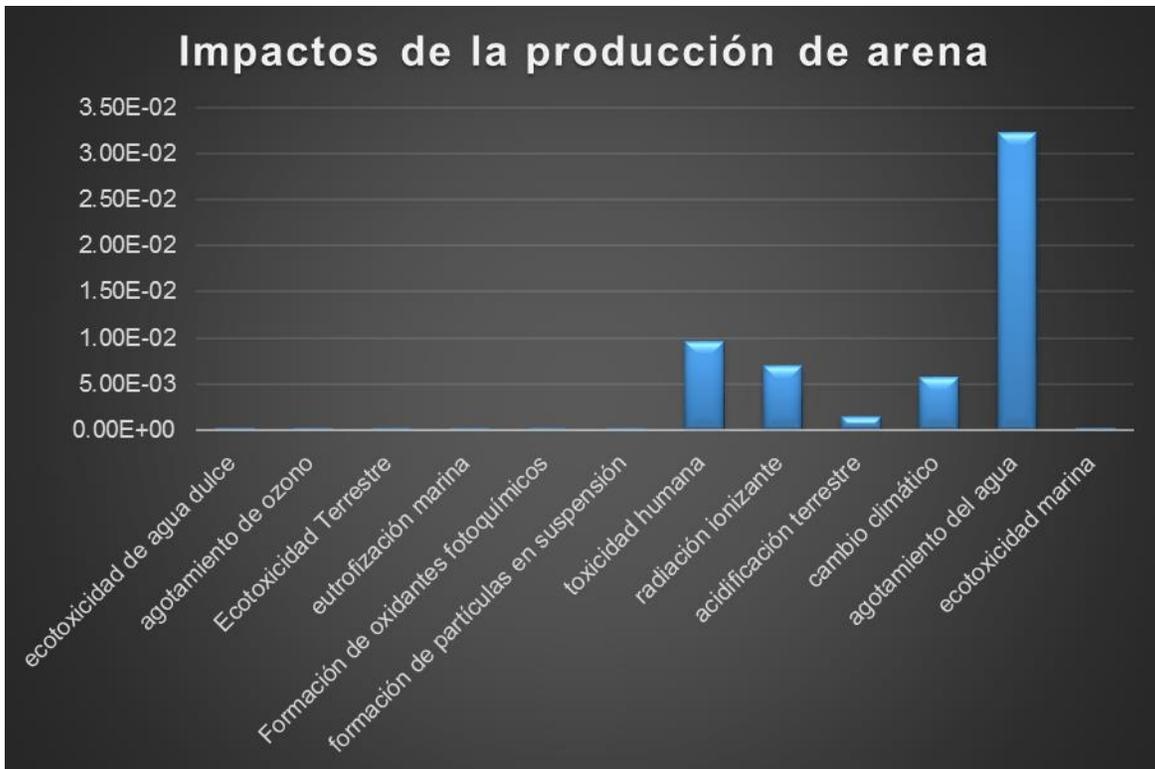


Figura 3.3. Caracterización de impactos ambientales asociados a la producción de arena según el método ReCiPe *Midpoint H*.

3.4. Propuesta de mejora.

La filtración es la separación de partículas sólidas a partir de un fluido mediante el paso de este a través de un medio filtrante o pared separadora sobre la que se depositan los sólidos. Las filtraciones industriales van desde un sencillo colado hasta separaciones altamente complejas. El fluido puede ser un líquido o un gas, y la corriente valiosa procedente de un filtro puede ser el fluido, los sólidos o ambos productos.

Una de las tecnologías que se aplican para la recuperación de agua y de lodos en el proceso de lavado de arenas es el filtro de prensa donde la capacidad de producción oscila entre 1.5 y 10 kg de sólidos por m² de superficie de filtración. Para cada modelo de filtro de prensa el volumen de la cámara y la superficie de filtración dependen del número de placas del filtro. Actualmente se ha desarrollado un tipo de filtro específicamente para el sector del lavado de áridos, los cuales poseen un sistema de descarga "controlada", de modo que no es obligatorio supervisar la descarga del filtro. Esta presenta la mejor y más simple alternativa al

filtrado de lodos arcillosos como los producidos en el lavado de áridos, tanto por su simplicidad de funcionamiento como por su rapidez y posibilidad de automatización total, en combinación con los clarificadores de alto rendimiento (Figura 3.4). La clarificación y el filtrado se realizan de modo continuo, sin necesidad de operarios, repercutiendo en la optimización de la capacidad de tratamiento.



Figura 3.4.Filtro prensa tipo C-1500 con 28 cámaras.

En el estudio realizado con anterioridad por Enier Rodríguez (2019) se determinaron los nuevos flujos del proceso utilizando el software STAN como se muestra en la Figura 3.5.

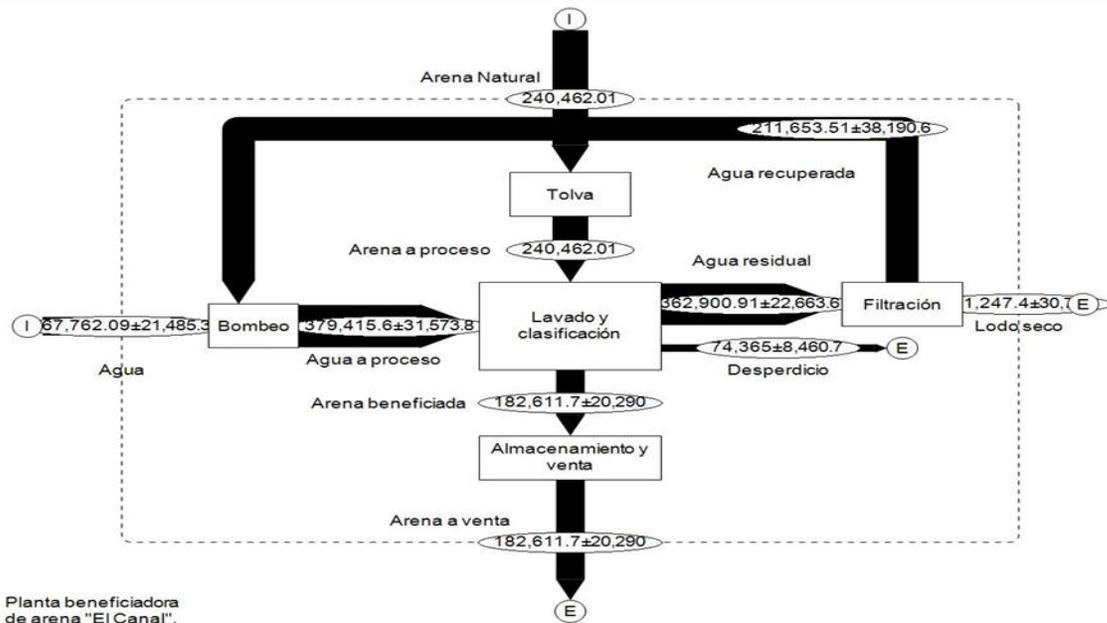


Figura 3.5. Balance de masa con filtración. **Fuente** (Rodríguez Pérez, 2019).

Una vez conocidas los principales flujos del nuevo sistema con la introducción de un filtro prensa se procedió a la construcción del diagrama emergética y la tabla emergética del mismo (Tabla 3.6) donde se clasifican los diferentes flujos en recursos renovables y no renovables de la economía y materiales y servicios de la economía. A modo de aclaración para este nuevo sistema solamente cambian los flujos del agua y electricidad los demás continúan con los mismos valores.

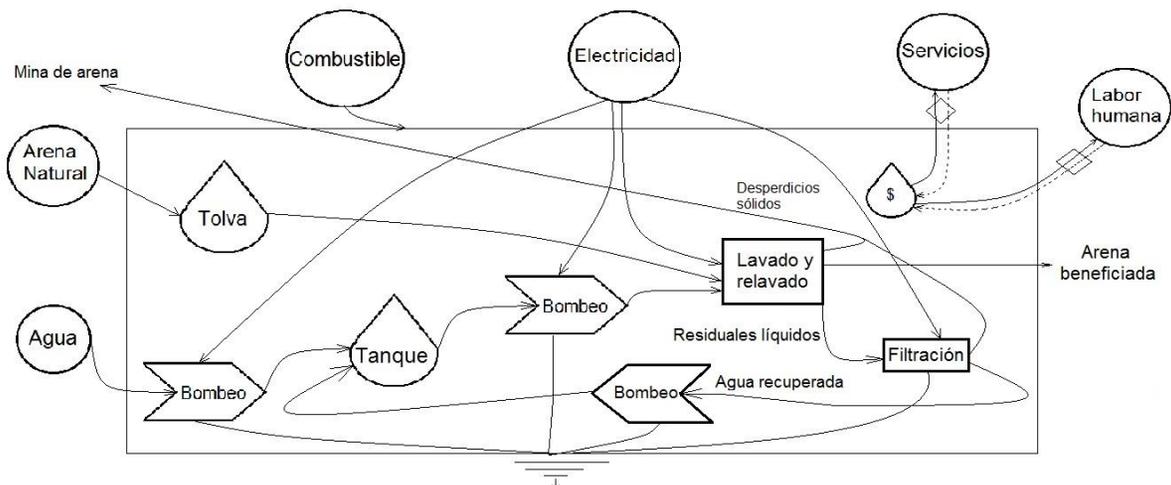


Figura 3.6. Diagrama emergético con la introducción del filtro. **Fuente** Elaboración propia.

Tabla 3.6 Tabla emergética para la Planta Lavadora de Arena El Canal con filtro.

Flujo	Dato	Unidad	Transformidad (seJ/Unidad)	Energía (seJ/año)
Renovables [R]				3.82E+18
Agua	6.78E+10	g/año	3.23E+05	2.19E+16
Aire	3.87E+11	J/año	9.82E+06	3.80E+18
No renovables [N]				4.04E+20
Arena natural	2.40E+11	g/año	1.68E+09	4.04E+20
Materiales de la economía [M]				6.51E+17
Electricidad	4.68E+11	J/año	7.94E+05	3.72E+17
Diesel	9.89E+07	g/año	2.83E+09	2.80E+17
Servicios de la economía [S]				2.96E+17
Gastos por mantenimiento y lubricantes	6.18E+04	\$/año	4.60E+12	2.84E+17
Labor humana	3.01E+09	J/año	3.93E+06	1.18E+16
Aporte de la economía [F]				9.48E+17
Energía Total				4.09E+20

Fuente. Elaboración propia.

En la Tabla 3.7 se muestran los indicadores energéticos del proceso. Se puede ver que existe una diferencia significativa con el aumento de la razón de eficiencia energética (EYR) manteniendo aproximadamente la misma carga ambiental. Si bien es cierto que por el artificio matemático por la que estos indicadores fueron definidos esta es mayor no es comparable con el beneficio que se obtiene reflejándose en el aumento del índice de sostenibilidad energética.

Tabla 3.7. Indicadores energéticos para el sistema objeto de estudio.

Indicadores	Valores
Razón de renovabilidad (%R)	0.935%
Razón de eficiencia energética (EYR)	431
Razón de carga ambiental (ELR)	106
Índice de sostenibilidad energética (ESI)	4.0706

Fuente. Elaboración propia.

El producto obtenido en este proceso igualmente es arena beneficiada y aunque no se disminuye considerablemente su energía específica igual es positivo. Nótese que este nuevo valor es congruente con la explicación referida anteriormente sobre este indicador.

Tabla 3.8. Emergía específica del producto obtenido.

Producto	Producción	Unidad	Emergía específica(seJ/g)
Arena lavada	7.60E+10	g/año	5.3799E+09

Fuente. Elaboración propia

Para el análisis de ciclo de vida con la introducción de un filtro prensa las únicas entradas y salidas que variarán serán las de electricidad y el agua las demás continuarán con el mismo valor. El indicador de consumo de agua disminuye de 3.3 a 0.65 y el índice de la electricidad disminuye de 2.3 a 1.71, esto se puede observar en la tabla 3.9.

Tabla 3.9. Valores resultantes de la ponderación de las categorías de impacto por el método ReCiPe *Midpoint* H.

Categorías de impacto	Unidad	Resultado	Valor de normalización	Valor Normalizado
ecotoxicidad de agua dulce	kg 1,4-DCB-Eq	0.00311	235	1.32E-05
agotamiento de ozono	kg CFC-11-Eq	6.51E-06	8	8.14E-07
Ecotoxicidad Terrestre	kg 1,4-DCB-Eq	0.00421	155	2.72E-05
eutrofización marina	kg N-Eq	0.00125	112	1.12E-05
Formación de oxidantes fotoquímicos	kg NMVOC	0.03789	202	1.88E-04
formación de partículas en suspensión	kg PM10-Eq	0.07537	716	1.05E-04
toxicidad humana	kg 1,4-DCB-Eq	8.02127	835	9.61E-03
radiación ionizante	kg U235-Eq	5.3227	766	6.95E-03
acidificación terrestre	kg SO2-Eq	0.36822	264	1.39E-03
cambio climático	kg CO2-Eq	0.83401	146	5.71E-03
agotamiento del agua	m3	0.35575	93	3.83E-03
ecotoxicidad marina	kg 1,4-DCB-Eq	0.01778	756	2.35E-05

Fuente:Elaboración propia.

En la Figura 3.7 se puede observar que los principales impactos ambientales del proceso de lavado de arena son el agotamiento del agua, radiación ionizante, acidificación terrestre, cambio climático y la toxicidad humana. Con este método puede verse que disminuye considerablemente el impacto por consumo de agua y la toxicidad humana, la radiación ionizante y el cambio climático serían entonces las categorías que generarían mayor impacto. El consumo de combustible, electricidad y agua continúan siendo los flujos que más contribuyen a las diferentes categorías de impacto.

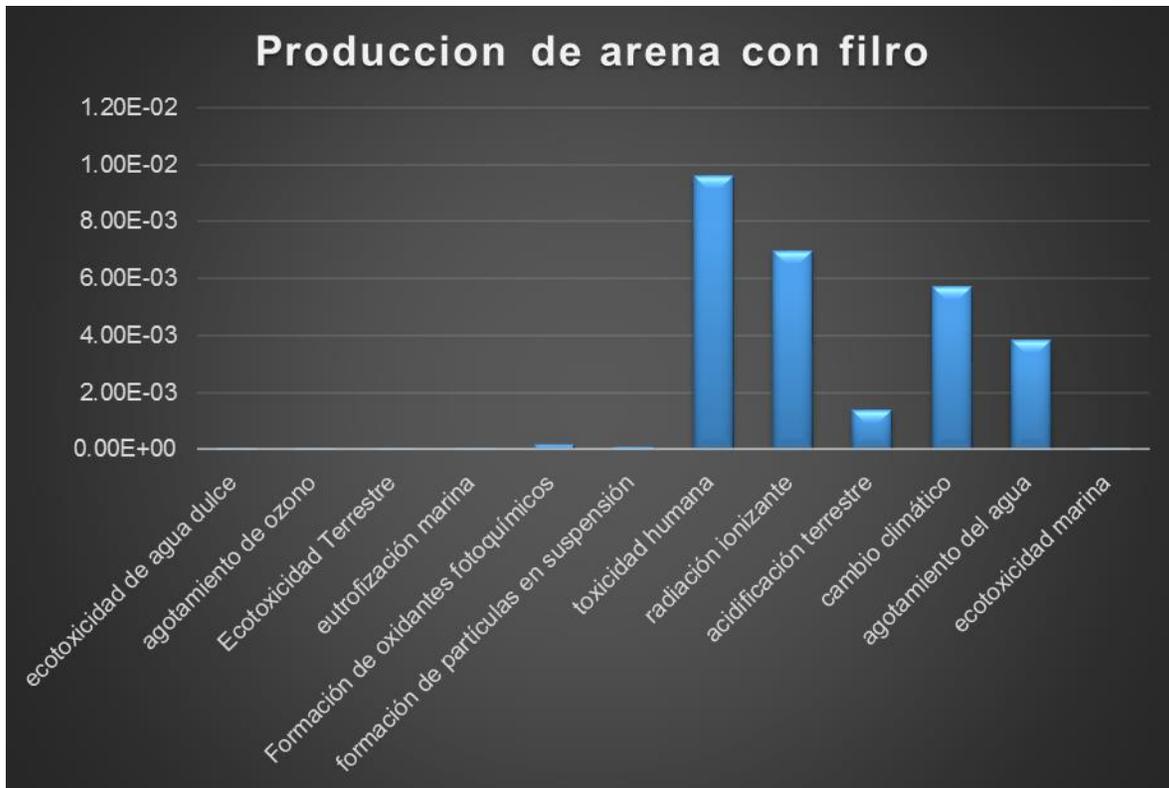


Figura 3.7. Caracterización de impactos ambientales asociados a la producción de arena con filtro según el método ReCiPeMidpoints. **Fuente**Elaboración propia.

3.4.1. Comparación de la tecnología actual con respecto a la propuesta de mejora.

Para realizar esta comparación se usaron los resultados de los indicadores considerando en el método emergético el indicador (ESI) dado que es el de mayor importancia ya que es el de mayor relevancia en los indicadores EYR y el ELR. Como se puede observar en la Figura 3.8 el indicador ESI es mayor en la propuesta de mejora que en la tecnología actual lo cual indica que es beneficioso su introducción para mejorar la sostenibilidad del proceso. Aunque no se puede concluir que este será sostenible a largo plazo si consiste en una mejoría significativa.

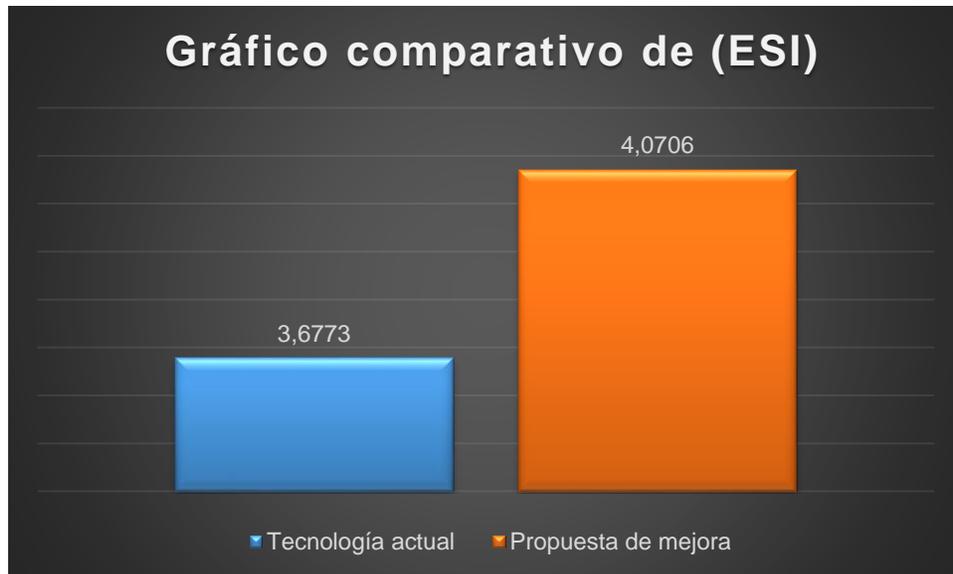


Figura 3.8. Comparación del indicador (ESI). **Fuente** Elaboración propia.

En la Figura 3.9 pueden observarse los impactos generados por ambas tecnologías considerando el ciclo de vida. Las categorías de impacto toxicidad humana, radiación ionizante, acidificación terrestre, cambio climático se mantienen de forma aproximadamente constante en ambas tecnologías, pero cuando vamos a analizar la categoría de impacto agotamiento del agua en la tecnología actual es extremadamente alta y con la propuesta de mejora disminuye considerablemente por lo cual podemos decir que sería muy atractivo realizar esta inversión en vista de disminuir la categoría de impacto ambiental agotamiento del agua.

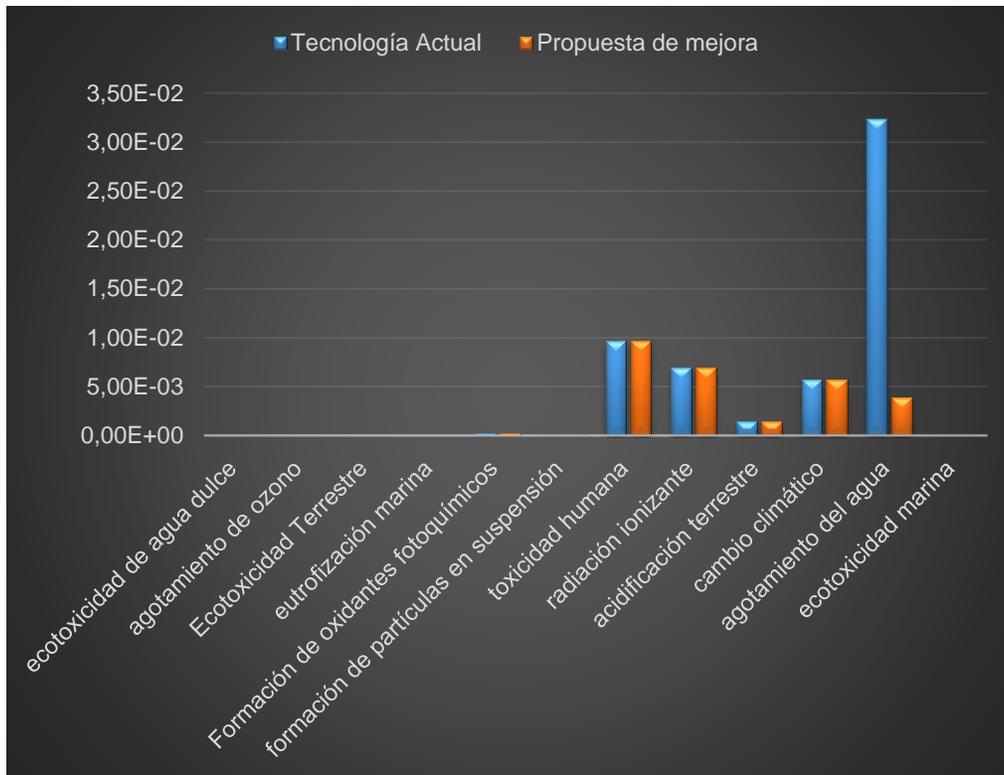


Figura 3.9. Categorías de impacto de ambas tecnologías según el (ACV). Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

- 1 El análisis energético integrado con el análisis de ciclo de vida constituyen herramientas interesantes para valorar el desempeño ambiental de los procesos dado que se estima sinérgicamente el costo ambiental en términos energéticos como el impacto causado por emisiones al medio natural.
- 2 El proceso de beneficio de arena está en su mayoría condicionado por una elevada explotación de materiales no renovables de la naturaleza constituyendo más del 98 % de la emergía del proceso, sin embargo el aporte que brinda a la economía hace que el proceso sea parcialmente adecuado en comparación con carga ambiental impuesta al sistema local. En el ciclo de vida las categorías más impactantes son: agotamiento de agua, toxicidad humana, radiación ionizante, cambio climático y acidificación terrestre.
- 3 La disminución en la categorías de impacto a lo largo del ciclo de vida, así como el aumento del índice de sostenibilidad energética hace que la introducción de la tecnología de filtración para la recuperación de agua sea adecuada para reducir el impacto ambiental del proceso contribuyendo a un mejor desempeño de este.

RECOMENDACIONES

- Reducir la incertidumbre de los resultados a partir de la utilización de bases de datos de ciclo de vida autóctonas.
- Socializar los resultados de la investigación en la comunidad científica para que sirva como referencia en posteriores estudios.
- Poner a disposición de la entidad la información contenida en la tesis para que sirva como apoyo para fortalecer los sistemas de gestión de la empresa.

BIBLIOGRAFÍA

- Borzunov, N. B. (1977). *Manual de búsqueda y exploración de Materiales de Construcción*. La Habana: NEDRA.
- Sunkel, O. (2011). *América Latina entre el cuidado y la dependencia de sus recursos naturales*. Santiago de Chile: IDEA-USACH.
- Aguilar Barajas, I. (2002). Reflexiones sobre desarrollo sustentable. *Comercio Exterior*, 98-105.
- Aguilar, N., Rosas, J., & Espinosa, R. (2015). Evaluación Emergy y LCA en la agroindustria azucarera de Veracruz. *Cultivos Tropicales*.
- Almeida, S. F. (2017). *Diagnóstico tecnológico de la Arenera Río Sagua*. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez", Departamento de Minería, Holguín.
- Basosi, R., Cellura, M., Longo, S., & Parisi, M. L. (2018). *Life Cycle Assessment of Energy Systems and Sustainable Energy Technologies*.
- Bastianoni, S., & Campbell, D. E. (2009). The solar transformity of petroleum fuels. *Ecological Modelling*.
- Belt, V. T. (1997). *Crecimiento y medio ambiente*. Finanzas y Desarrollo.
- Bolaños, N. V. (2007). *Propuesta de instrumentos de política pública que promuevan la protección y cuidado ambiental en la gestión empresarial*. Ecuador.
- Brown, M. T. (2011). Understanding the global economic crisis: A biophysical perspective. *Ecological Modelling*.
- Brown, M. T., & Herendeen, R. A. (1996). Embodied energy analysis and EMERGY analysis: a comparative view. *Ecological Economics*, 219-235.
- Brown, M. T., & Ulgiati, S. (2004). *Emergy Analysis and Environmental Accounting*. Cleveland.
- Brown, M. T., & Ulgiati, S. (2002). Emergy evaluations and environmental loading of electricity production systems. *Journal of Cleaner Production*, 321–334.
- Brown, M., & Ulgiati, S. (1997). *Emergy based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology towards environmentally sound innovation*.
- Buenfil, A. (2001). *Emergy evaluation of water*. Gainesville: University of Florida.
- Buitrago, R. (2013). *Análisis del ciclo de vida para la producción de bioetanol por medio de OpenLCA*. Colombia.

- Calzadilla, O. T. (2010). *Evaluación de Producciones Más Limpia en la planta de beneficio de arena "El Canal"*.
- Cano, A., Gallego, D., & Velásquez, H. (2014). *Emergy Evaluation: A Tool for the Assessment of Sustainability in Project Development*.
- CONSULTANTS, P. (2006). SimaPRO 6.0 .LCA software:the powerful life cycle solution.
- Cornelissen.R.L. (1997). *Thermodynamics and sustainable development*.
- Development, U. N. (1992). Declaration on Environment and Development. Agenda 21.
- Díaz Peña, M. (2009). "Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de la producción de alcohol: ejemplo de caso ALFICSA". Cienfuegos.
- Díaz, R. (2009). *Desarrollo sustentable, oportunidad para la vida*. México : (G. Hill, Ed.)
- Durand, C. G. (2016). Analisis emergeticos para la reutilizacion de lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales. *Ingenium* .
- Espinosa, G. (2007). *Gestión y fundamentos de evaluación del impacto ambiental*. (B. I. BID, Ed.) Santiago de Chile.
- Fullana. P. (2002). *Annoucement and call for Papers for Joint SETAC Europe and ISIE meeting*. Barcelona.
- Gálvez, C. (2016). *Análisis emergético para la reutilización de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales*. Santa Clara-Lima.
- Garrido, A. A. (2009). *La energia como elemento esencial de desarrollo*.
- Giannetti, B. F., & Prevez, L. (2016). Greening A Cuban Local Mango Supply Chain: Sustainability Options and Management Strategies. *Journal of Environmental Accounting and Management* , 251-266.
- Hau, J. L. (2004). Promise and problems of emergy analysis. *Ecological Modelling* .
- Herrmann, C., & Kara, S. (2019). *Progress in Life Cycle Assessment*. Switzerland.
- Iglesias, D. (2005). *Revelamiento exploratorio del analisis del ciclo de vida de productos y su aplicacion en el sistema agroalimentario*.
- Incropera, F. P. (2007). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer (Vol. 3)*. La Habana: Félix Varela.
- ISO. (2006). *Environmental management .Life cycle assessment . Requirements and guidelines*.
- ISO. (2009). *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de Vida. Definición del objetivo y alcance y análisis del inventario (NC-ISO 14040)*. La Habana: Ofinicia Nacional de Normalización.
- ISO. (2001). *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Ejemplos de aplicación de la NC-ISO 14041 para la definición del objetivo y alcance y análisis del inventario* . La Habana: Oficina Nacional de Normalización.

- ISO. (2000). *GESTION AMBIENTAL. ANALISIS DEL CICLO DE VIDA. EVALUACION DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA* . La Habana: Oficina Nacional de Normalización .
- Langenhve, J. D. (2002). *Assessment of Sustainability of Technology by Means of a Thermodynamically Based Life Cycle Analysis*.
- León Bolaños, N. (2015). *Propuesta de instrumentos de política pública que promuevan la protección y cuidado ambiental en la gestión empresarial del Ecuador*.
- 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*. España: Retrieved from:
- Lomas, P., Di Donato, M., & Ulgiati, S. (2007). La síntesis emergética: una valoración de los servicios de los ecosistemas con base termodinámica. *Ecosistemas* .
- Lomas, P., Martín, B., Rodríguez, M., & Montes, C. (2006). *La síntesis emergética ("emergy synthesis"): Integrando Energía, Ecología y Economía*. Madrid.
- Manahan.S. (1999). *Industrial Ecology :Environmental Chemistry and Hazardous Waste*. New York.
- Marbán Flores, R. (2006). La Agenda 21 impulsora del desarrollo sostenible y de la protección del medio ambiente en Europa y España. *Boletín ICE Económico* , 31-45.
- Montes de Oca Liste, J. R. (2011). *"Determinar el Ciclo de Vida del café en las empresas agroindustriales Eladio Machín y la Trorrefactora y Distribuidora de café Cienfuegos."* Cienfuegos.
- Mora, M. A. (2012). *Metodología de evaluación ambiental y ecológico de proyectos petroquímicos mediante el análisis de ciclo de vida y modelo de eco-costo*. Santa Clara.
- Odum, H. T. (1996). *Environmental Accounting. Emergy and Decision Making*. New York.
- Odum, H. T., Brown, M. T., & Brandt-Williams, S. (2000). Introduction and Global Budget Handbook of Emergy Evaluation. *Center for Environmental Policy Peña* .
- Ortega, S. (2009). *Problemas ambientales generales*. Córdoba.
- Peña, M. D. (2009). *"Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de la producción de alcohol: ejemplo de caso ALFICSA"*. Cienfuegos.
- Pons, A. (2012). *Termodinámica técnica para ingenieros químicos*. La Habana, Cuba: Felix Varela.
- Prenzuela Díaz, R. (2019). *Evaluación del desempeño ambiental de la producción de electricidad en la Termoeléctrica de Cienfuegos*. Cienfuegos : Universidad Carlos Rafael Rodríguez.
- Quirós Vargas, R. (2014). *Life cycle assessments of municipal solid technologies, organic waste, and compost application to crops*. (U. A. Barcelona, Ed.) Bellaterra.
- Rieradevall, J. (2000). *Ecodiseño y ecoproductos*. España.

Rodríguez Pérez, E. (2019). *Propuesta tecnológica para la recuperación de agua en el proceso de beneficio de arena. Caso de estudio UEB "El Canal"*. Cienfuegos: Universidad Carlos Rafael Rodríguez.

Rodriguez.M.C. (2004). Exergía :Una oportunidad para el desarrollo tecnológico. *CINTEX* .

Saldini, F., & Bastianoni, S. (2016). *Sustainability assessment of selected biowastes as feedstocks for biofuel and biomaterial production by emergy evaluation in five African countries*.

Sánchez, V. G. (2006). Análisis emergético del policultivo de cachama blanca (*Piaractus brachipomus*) y bocachico (*Prochilodus* sp.). *Momentos de Ciencia* .

Scienceman, D. M. (1987). Energy and Emergy. *Environmental Economics* , 257-276.

Sha, S., Melin, K., & Hurme , M. (2013). Computer Aided Solar Energy Based Sustainability Evaluations in Process Design. *Chemical Engineering Transactions* , 32.

Suppen, N. (2005). Conceptos básicos del Análisis de Ciclo de Vida y su aplicación en el ecodiseño.

Tilley, D. (2014). Transformity dynamics related to maximum power for improved emergy yield estimations. *Ecological Modelling* .

Valdés, A. (2017). *Evaluación de la sostenibilidad de la producción de azúcar crudo mediante indicadores emergéticos*. Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez", Ingeniería Química, Cienfuegos.

Voorra, V. A. (2010). *Using emergy to Value ecosystem Goods and Services*. Canada.

Warren, L. M. (2007). *OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA* (Vol. 7ma edición). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V.

WCED. (1987). *Our Common Future*. Oxford.

Zaman, U. (2010). *Comparative study of municipal solid waste treatment technologies using life cycle assessment method*.

Zaror.C. (2000). *Introducción a la Ing.Ambiental para la industria de proceso*. Chile.

ANEXOS

Anexo 1. Cambios en la energía y transformidad para un sistema.

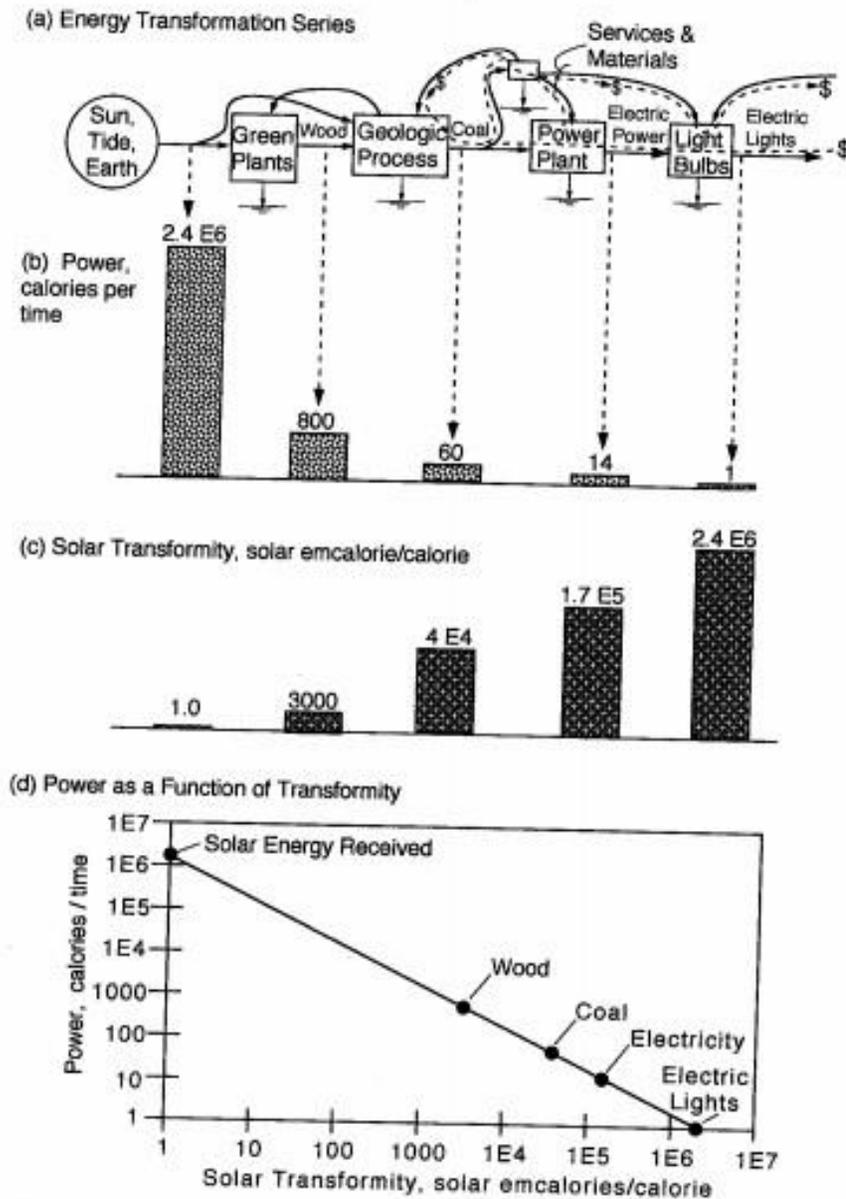
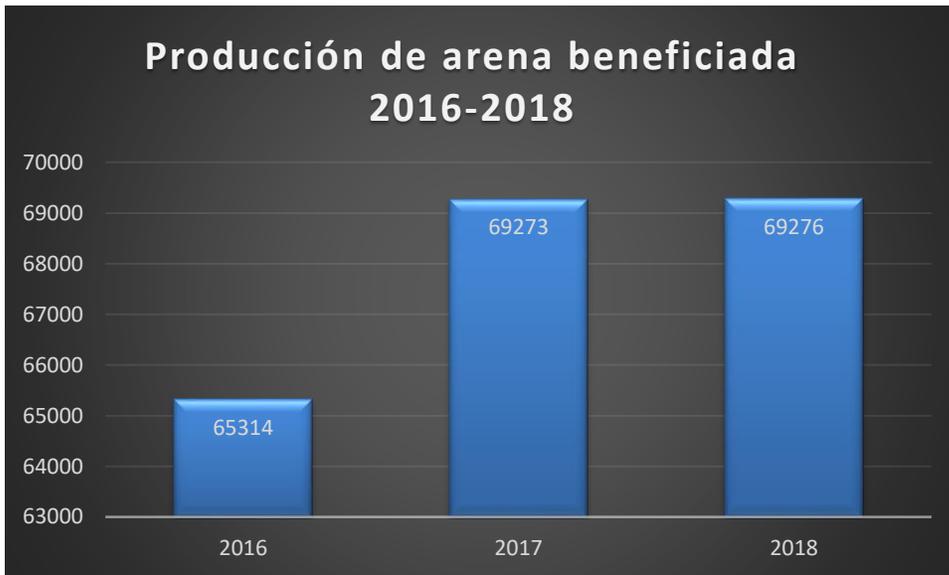


Figure 3. Energy transformation series showing the necessary solar energy for generating a joule of electric light using electricity from a coal-fired power plant. (a) Systems diagram; (b) available energy used in work in each transformation step; (c) solar transformity of the work products; (d) power used as a function of transformity on logarithmic coordinates.

Anexo 2. Producción de arena beneficiada.



Anexo 3. Categorías de impacto ambiental.

