

**UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS “CARLOS RAFAEL
RODRIGUEZ” FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**



**TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

**Análisis del Ciclo de Vida de la producción de botellas PET en
la Empresa Militar Industrial Comandante Ernesto Che
Guevara.**

Autora: Leodán Torres Rodríguez

Tutores: MS.c Elisa Chou Rodríguez

Ing. Yoan Capote Trujillo

Colaboradora: Ing. Lisbet Hastie Arteaga

Cienfuegos, 2020

Pensamiento



La tierra no es del hombre, el hombre es de la tierra.

Anónimo

Dedicatoria

A mis padres, que gracias a ellos soy la persona que soy, pues no solo me dieron la vida, sino que me mostraron que en la vida todo se logra a través de sacrificio y la dedicación. Y que el resultado final solo vale la pena si se logra de tu propio esfuerzo.

Agradecimientos

A mi jefa de cadete Cecilia y a todo el consejo de dirección de los camilitos por su apoyo y cuidado en todos estos años.

A mis tutores Elisa y Yoan por su ayuda e ideas, pues sin ellos este trabajo no hubiera sido posible.

A toda mi familia por su apoyo y amor incondicional en especial a mi abuela Celia, a mi hermano y primos Ana y Jesús Miguel.

A todos los trabajadores de la Empresa Militar Industrial Comandante Ernesto Che Guevara, que aportaron su grano de arena para que esto saliera adelante.

A todos los que de una forma u otra han contribuido en el desarrollo de esta investigación.

Muchas gracias

RESUMEN

El Análisis del Ciclo de Vida constituye hoy en día una de las principales herramientas de gestión ambiental, lo cual contribuye al desarrollo sostenible en la industria que se aplique. El presente trabajo tiene como objetivo utilizar esta herramienta en el proceso de producción de Botellas PET en la Empresa Militar Industrial Comandante Ernesto Che Guevara. Para ello se fundamenta teóricamente los elementos que sustentan esta investigación permitiendo proponer una metodología para su aplicación, utilizándose los datos productivos recopilados del proceso en la confección del inventario y con el empleo del método CML (baseline) en el software OpenLCA se realiza la evaluación del impacto ambiental. Como resultados se identifica que la categoría de impacto ecotoxicidad de agua marina presenta una mayor incidencia en la fabricación de este producto, la misma se ve afectada por la emisión de sustancias tóxicas al aire, como son el fluoruro de hidrogeno y el selenio. Finalmente, con vistas a mitigar los impactos ambientales de la producción se identificaron plan de mejoras potenciales que pueden ser aplicadas a este sistema de la empresa.

Palabras clave: análisis de ciclo de vida, botellas PET, tapas PP, impacto ambiental.

ABSTRACT

The Life Cycle Analysis constitutes today one of the main environmental management tools, which contributes to sustainable development in the industry that is applied. The present work aims to use this tool in the PET bottle production process in the Comandante Ernesto Che Guevara Military Industrial Company. For this, the elements that support this research are theoretically based, allowing to propose a methodology for its application, using the productive data collected from the process in the inventory preparation and with the use of the CML method (baseline) in the OpenLCA software, the evaluation of the environmental impact. As a result, it is identified that the marine aquatic ecotoxicity impact category has a higher incidence in the manufacture of this product, it is affected by the emission of toxic substances into the air, such as hydrogen fluoride and selenium. Finally, with a view to mitigating the environmental impacts of production, potential improvement plans were identified that can be applied to this company's system.

Keywords: life cycle analysis, PET bottles, PP caps, environmental impact.

ÍNDICE

ÍNDICE	7
INTRODUCCIÓN.....	9
Problema científico.....	12
Hipótesis	12
Objetivo general	12
Objetivos específicos	12
CAPITULO I: ANALISIS DEL CICLO DE VIDA COMO HERRAMIENTA DE GESTION AMBIENTAL	13
1.1 El Sistema de Gestión Ambiental (SGA) en la fábrica de plástico.....	13
1.1.1 Herramientas de Gestión Ambiental.....	16
1.1.2 Análisis del Ciclo de Vida (ACV)	20
1.2 Caracterización de la fábrica de plástico	24
1.2.1 Comportamiento de la producción de plástico	27
1.2.2 Líneas de producción de la fábrica	28
1.3 La botella como producto de la fabricación de plástico.....	28
1.3.1 Descripción general del proceso de producción de botellas de plástico	29
1.3.2 Etapas del proceso de producción	30
1.3.3 Clasificación de las botellas.....	31
1.4 Impactos ambientales del sector plástico	31
1.4.1 Efectos sobre la salud humana	32
1.5 Metodología para el Análisis del Ciclo de Vida	32
CAPITULO II: PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA CUBETA DE PLÁSTICO	36
2.1 Características de la Empresa Militar Industrial Comandante Ernesto Che Guevara 	36
2.1.1 Historia de la Empresa Militar Industrial Comandante Ernesto Che Guevara	37
2.1.2 Planeación estratégica de la Empresa Militar Industrial Comandante Ernesto Che Guevara	40
2.1.3 Cartera de Productos	40
2.1.4 Comportamiento de la producción de plástico en los años 2017 – 2019.....	41

2.2 Situación ambiental de la Empresa Militar Industrial Comandante Ernesto Che Guevara	42
2.2.1 Antecedentes	42
2.2.2 Situación ambiental actual	42
2.3 Descripción del proceso de obtención de botellas PET	44
2.3.1 Proceso para la elaboración de la botellas PET	44
2.3.2 Características de las materias primas empleadas en la producción de botellas de plástico	46
2.3.3 Máquinas de soplado PET	47
2.4 Metodología de Análisis de Ciclo de Vida	50
2.4.1 Etapa 1: Objetivo y alcance	50
2.4.2 Etapa 2: Análisis de inventario	52
2.4.3 Etapa 3: Evaluación de impacto.....	53
2.4.4 Etapa 4: Interpretación de los resultados	55
CAPITULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	56
3.1 Definición del objetivo y alcance	56
3.1.1 Objetivos del estudio.....	56
3.1.2 Alcance del estudio	56
3.2 Análisis de inventario	57
3.2.1 Recopilación de datos	57
3.2.1.1 Colectar y preparar la información básica	57
3.2.3 Construcción de los diagramas de procesos	59
3.2.4 Procesamiento de los datos:	60
3.2.5 Método CML (baseline).....	60
3.3 Evaluación del impacto del ciclo de vida	61
3.3.1 Perspectiva del método CML (baseline).....	62
3.4 Interpretación de los resultados	¡Error! Marcador no definido.
CONCLUSIONES	74
RECOMENDACIONES	75
BIBLIOGRAFIA	¡Error! Marcador no definido.

INTRODUCCIÓN

El hombre forma parte del medio en el que vive, por su naturaleza se encuentra ligado a él, lo transforma para satisfacer sus necesidades, establece pautas para su valoración y cuidado. Entre hombre y medio ambiente existe una relación de dependencia en cuál es el medio el que determina en gran medida las formas de vida de cada persona. (Cruz, 2016)

El ambiente está constituido por elementos naturales y artificiales, físicos, químicos, biológicos, actividades sociales culturales y sus correspondientes interrelaciones, transformado por la acción humana o natural que condiciona el desarrollo de la vida o su existencia. (García, 2001)

En la actualidad, legar a las futuras generaciones un medio ambiente apto para la continuidad de la civilización se ha convertido en una de las principales preocupaciones de la humanidad. En el marco de la globalización de las economías no es posible estar al margen de esta preocupación. En estos días, los consumidores son más exigentes, tanto en la conservación de los recursos naturales y en la protección del medio ambiente, como en la calidad de los productos y servicios que reciben. Por tal motivo, la industria enfrenta el reto de producir con alta calidad y satisfacer las expectativas de los consumidores y de otras partes interesadas en el tema de la protección del medio ambiente. (Romero, 2003)

El impacto ambiental de un producto inicia con la extracción de las materias primas y termina cuando la vida útil del producto finaliza, convirtiéndose en un residuo que ha de ser gestionado adecuadamente. Durante la fabricación, las empresas deben evaluar el impacto ambiental que tiene su proceso, además tienen la responsabilidad sobre el impacto que ocasionan las partes involucradas en el proceso hasta que el producto llega al cliente consumidor, (por ejemplo, proveedores, distribuidores y consumidores). Esta cadena, que va ‘desde el nacimiento hasta la tumba’ es lo que se denomina ciclo de vida de un producto. (Romero, 2003)

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta de gestión ambiental que se utiliza para predecir y comparar los impactos ambientales de un producto o servicio, “desde la cuna a la tumba”. Esta técnica examina cada etapa del ciclo de vida, desde la extracción de materias primas, siguiendo con la fabricación, distribución, uso, posible uso/reciclado y disposición final. Para cada etapa se calculan las entradas (en términos

de materias primas y de energía) y salidas (en términos de emisiones al aire, agua y residuos sólidos) y se totalizan para todo el ciclo de vida. Estas entradas y salidas se traducen en sus efectos al ambiente, es decir, en sus impactos ambientales. La sumatoria de estos impactos ambientales representa el efecto total al ambiente del ciclo de vida del producto y/o servicio. Realizar ACV para productos o servicios alternativos permite comparar y cuantificar sus impactos ambientales. Esto no necesariamente permite determinar que una opción es “ambientalmente superior” a otra, sino que permite evaluar los intercambios asociados para cada opción y, por lo tanto, ofrece información cuantitativa para la toma de decisiones.

También apunta principalmente al rediseño de productos, bajo el criterio de que los recursos energéticos y materias primas no son ilimitados, y normalmente se usan en forma más rápida que como se reemplazan o como surgen nuevas alternativas. Debido a esto la conservación de recursos privilegia, la reducción de la cantidad de residuos generados (a través del producto), pero como, éstos se seguirán produciendo plantea, manejar los residuos de una forma ambientalmente sustentable minimizando todos los impactos asociados con el sistema de manejo.

El ACV se ha utilizado principalmente en empresas para predecir y comparar el rendimiento ambiental de sus productos y envases. En este sentido, es en el campo de los envases y embalajes donde presta mayores beneficios, ya que las características de diseño y de utilización de materias primas han recibido una atención considerablemente mayor que otros productos. Los principales estudios realizados y publicados en materia de envases son respecto a la comparación de las distintas alternativas de envases para bebidas y los impactos ambientales de los diferentes materiales de envasado.

La industria del plástico ha sido una de las actividades más dinámicas en la industria química mundial, desde hace más de dos décadas. Cuba ha alcanzado un alto nivel en la producción de este tipo de plásticos, especialmente a partir de momento en que se instala plantas petroquímicas para producir polietileno de baja densidad y cloruro de vinilo, considerados como insumos básicos de esta industria. Existen aproximadamente 50 productores de resinas sintéticas, y varias entidades involucradas en la conversión de resinas a productos finales. (Hidalgo, 2010)

A pesar del crecimiento histórico y del número de empresas involucradas en el negocio, la industria del plástico aún no se considera madura. El plástico y los productos

fabricados con este material son cada vez más utilizados, reemplazando así a otros materiales por sus características y costo. (Hidalgo, 2010)

En el mundo la industria de plásticos es una de las más dinámicas dentro de la economía. Durante varios años ha obtenido una participación en el producto interno bruto [PIB] de varios países como el nuestro. Hoy en día el plástico es una alternativa de bajo costo para el envasado de muchos productos en distintas industrias. Según análisis realizados el costo de operaciones de productos de plástico es un veneficio ya que es muy bajo y así nos permite mayores ganancias (Curbelo, 2015).

El consumo mundial de plástico está causando problemas cada vez mayores en nuestro planeta. Por una parte, el plástico ofrece ventajas sobre otros materiales porque es ligero, resistente, económico y duradero. Por otra, plantea un problema enorme para el medio ambiente. (Kasper, 2017)

El Tereftalato de Polietileno [PET] se ha transformado en la principal opción de resina plástica para envasar gran variedad de líquidos, aunque tiene un impacto ambiental negativo, tarda 700 años en degradarse y ocasionan problemas de contaminación del agua, aire y suelo. De acuerdo con el Ministerio de Ambiente en el 2012 la producción de botellas PET fue de 1.406 millones aproximadamente, de las cuales 1.136 millones pudieron ser recolectados para proceso de reciclado. Este proceso ha aumentado del 30% a 80% en los años 2011 al 2012 respectivamente. (Ministerio de Ambiente del Ecuador, 2012)

Por otro lado, el consumo PET ha registrado un rápido crecimiento en el mercado mundial de plástico debido a la continua expansión de las botellas para contener principalmente bebidas (Welle, 2011). En 2007, el consumo mundial de botellas de PET fue de 15 millones de toneladas (Shen et al., 2010), representando entre el 8% en peso y 12% en volumen del total de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) generados a nivel mundial (Shukla y Harad, 2009).

La presente investigación evalúa el impacto ambiental ocasionado por las botellas PET que se producen en la Empresa Militar Industrial Comandante Ernesto Che Guevara, utilizando la metodología de Análisis de Ciclo de Vida estandarizada por las normas ISO 14040. Lo anterior, para generar bases y fundamentos que coadyuven al desarrollo y planificación de una mejor estrategia de manejo y uso para su posterior reciclado.

El sistema de estudio corresponde al actual manejo de las botellas PET que integran las etapas de selección de la fibra de poliéster, producción y disposición final, que se desarrolla actualmente en la Empresa Militar Industrial Comandante Ernesto Che Guevara. La unidad funcional es 2,678 toneladas de botellas que fueron producidas durante el año 2016 por la entidad.

La identificación de los diferentes impactos ambientales asociados al sistema de estudio son indicadores que permitieron conocer los procesos de cada etapa que requieren de modificaciones en las actuales técnicas operacionales. Presentándose el siguiente problema científico.

Problema científico

La Empresa Militar Industrial Comandante Ernesto Che Guevara no dispone de estudios realizados donde se analice el ciclo de vida de la producción de botellas PET, que posibilitarían identificar los principales impactos y daños ambientales que se generan.

Hipótesis

La aplicación del Análisis del Ciclo de Vida de las botellas PET permite identificar los impactos y daños ambientales generados por este proceso productivo.

Objetivo general

Evaluar el Ciclo de Vida de las botellas PET en la Empresa Militar Industrial Comandante Ernesto Che Guevara.

Objetivos específicos

1. Fundamentar teóricamente los elementos que sustentan una evaluación de ciclo de vida de los productos del sector plástico.
2. Proponer una metodología para la identificación de los beneficios o daños ambientales del ciclo de vida utilizando los principios de las normas ISO: 14040 - ISO: 14043.
3. Analizar los principales beneficios o daños ambientales de esta producción a través de la metodología propuesta.

4. Proponer un plan de medidas a la Empresa Militar Industrial Comandante Ernesto Che Guevara con vistas a mitigar los daños ambientales generados por este proceso productivo.

CAPITULO I: ANALISIS DEL CICLO DE VIDA COMO HERRAMIENTA DE GESTION AMBIENTAL

1.1 El Sistema de Gestión Ambiental (SGA) en la fábrica de plástico

El diseño de procesos y operaciones industriales, hasta hace poco se ha basado en decisiones técnicas y económicas. La variable ambiental se ha considerado cuando el proceso se encuentra en marcha, es decir, la solución a los riesgos e impactos ambientales se hace posterior y no en el diseño del proceso productivo, producto u obra de infraestructura. (Fernández,2006)

El impacto de las actividades industriales a nivel global ha generado efectos adversos y preocupantes sobre el medio ambiente. Esta situación ha permitido que los gobiernos tomen medidas de control por medio de la aplicación de normas que tienden a regular el desempeño ambiental de las empresas. Esto hace que las organizaciones, cualquiera que sea su naturaleza, deban velar porque sus actividades se realicen de manera amigable con el medio ambiente de forma que las consecuencias que puedan representar los procesos y productos relacionados con sus actividades sean cada vez menor y subsanados en el tiempo. (Aguilar, 2010)

La creciente conciencia social sobre la importancia de la protección del medio ambiente, las tendencias actuales de la política comunitaria y la presión de los consumidores y de las instituciones oficiales, hacen que hoy en día ninguna empresa pueda permanecer ajena a la incorporación del factor medioambiental al conjunto de actividades de gestión de una empresa. (León, 2004)

La idea de Gestión Medioambiental en las empresas ha ido evolucionándose a lo largo de los últimos años, principalmente por los cambios que ha experimentado la sociedad en el concepto de protección global del medio ambiente.

En efecto, de una manera creciente la Gestión Ambiental en las empresas no es ya una materia de cumplimientos legislativos y normativos cada vez más estrictos, sino que se

traduce en una visión estratégica de mercado y de planificación de actuaciones en el marco de las últimas décadas.

Las diferentes empresas cada vez más interesadas en alcanzar y demostrar una sólida actuación medioambiental, empiezan a solicitar a los diversos organismos nacionales e internacionales la sistematización de requisitos necesarios para la demostración del funcionamiento de la Gestión Ambiental en la empresa.

Uno de los primeros esfuerzos de sistematizar la Gestión Ambiental de las empresas procede de la Cámara Internacional de Comercio, la cual preocupada por el nivel creciente de imposiciones medioambientales toma la iniciativa a principios de los noventa, de proponer una estructura compatible con los intereses de Calidad y Productividad, que sistematizará la Gestión Ambiental en la industria.

De esta iniciativa, en 1992 surge la primera idea de Sistemas de Gestión Medioambiental, formalizados por la British Standard Institution en la norma BS 7750, “Specification for Environmental Management Systems”, tomando los conceptos de gestión de Calidad definidos en la serie de normas ISO 9000, y que permite la Certificación de Sistemas de Gestión Medioambiental en procesos productivos y plantas industriales, así como en las actividades del sector servicios.

Inspiradas en esta iniciativa, nacen con posterioridad distintas normas a nivel nacional e internacional; la idea, en el caso de España, se traduce en la publicación de la norma UNE 77801.

Al mismo tiempo que la Organización Internacional de Normalización (ISO) organiza un grupo de trabajo con el objeto de cumplir las mismas expectativas a nivel internacional, la Comisión Europea publica en 1993 el Reglamento 1836/93, por el que se permite que las empresas del sector industrial instaladas en algún país europeo se adhieran con carácter voluntario a un Esquema de Auditoría y Gestión Medioambiental, más conocido por EMAS.

Finalmente, en septiembre de 1996, se publica la Norma Internacional ISO 14001, “Sistemas de Gestión Medioambiental - Requisitos y guía de utilización”, con el fin de que el marco que regule la certificación de los Sistemas de Gestión Medioambiental se cree a nivel internacional, evitando las diferencias que pudieran surgir de la aplicación de dichas normas en los diferentes países.

El SGA se puede definir como un sistema estructurado de gestión, integrado con la actividad de gestión total de la organización, que incluye la estructura organizativa, la planificación de las actividades, las responsabilidades, las prácticas, los procedimientos, los procesos y los recursos para desarrollar, implantar, llevar a efecto, revisar y mantener al día los compromisos en materia de protección medioambiental que suscribe la organización, o la llamada política medioambiental.

Las necesidades de implementar Sistema de Gestión con la serie ISO14000 y otras normas, lleva al mejoramiento continuo del proceso. La relación desarrollo industrial-ambiente-salud pública, debe centrarse en disminuir el grado de entropía en los vectores ambientales a través de la implementación de SGA que apliquen sus conceptos de Ecología Industrial, Producciones más Limpias y las normas legales vigentes a nivel local, regional, nacional e internacional; y a crear una cultura ambiental para que sus productos sean competitivos en todos los mercados y por ende no incurrir en el deterioro ecológico y garantizar la calidad de la salud pública, el ambiente y la economía.

En el sector plástico a nivel mundial se han desarrollado estudios para aplicar SGA en distintas fábricas, los cuales parten de la identificación de los impactos ambientales que sus producciones ocasionen al medio y así proponer medidas para que las estrategias empresariales se comprometan con el cuidado del medio ambiente y la creación de un departamento dentro de la empresa que se dedique a la vigilancia de la producción y el control de la contaminación que exista.

En Cuba, la ley que establece los principios que rigen la política ambiental y las normas para regular la gestión ambiental es la Ley 81 del Medio Ambiente (MA), la cual plantea que el MA es un conjunto de elementos bióticos, abióticos y socioeconómicos con los que interactúa el hombre; a la vez que se adapta a él, lo transforma y lo utiliza para satisfacer sus necesidades (ANPP, 1997).

Con respecto al plástico nuestro país no cuenta con un sistema de reciclaje al 100% viable que nos permita eliminar la contaminación existente por este producto tanto en la fábrica como después de su uso. Los principales problemas con los que cuenta Cuba para el sistema de reciclado son:

- Infraestructura no apta para la clasificación en origen.

- Baja o nula disponibilidad técnica del equipamiento propio para el reciclaje (contenedores, etc...).
- Insuficiente logística para enfrentar la dispersión de las fuentes generadoras.
- Inexistencia de una Ley de Reciclaje y en general basamento legal desactualizado.
- Incumplimiento de la Ley 1288 por las entidades estatales.
- Entidades que no cuentan con un registro de entrega de los residuos reciclables que generan.
- Existencia de contratos no actualizados entre las partes, falta de seguimiento al cumplimiento de las cláusulas pactadas y ausencia de reclamaciones legales para los incumplimientos.
- En la mayoría de las entidades y organismos no se cuenta con el personal seleccionado y preparado para cumplir con la tarea recuperativa.
- Inexistencia de estadística confiable de los desechos reciclables que se generan.
- Lentos procesos de aprobación de bajas técnicas de equipos en desuso.
- El esquema financiero existente no garantiza oportunamente los aseguramientos.
- Inexistencia de política de precios acordes a los del mercado internacional, diversidad de normas jurídicas para su fijación y aplicación de precios no estimulantes. No uniformidad de precios de compra de algunos materiales reciclables, entre la población y el sector estatal.
- Incumplimiento de las normas técnicas de conservación y acondicionamiento de los desechos reciclables.

1.1.1 Herramientas de Gestión Ambiental

En el marco de la gestión ambiental, se aplican herramientas que pretenden hacer énfasis en el mejoramiento del desempeño ambiental de las empresas, promoviendo así el desarrollo sustentable. El uso de estas ha contribuido considerablemente a que las empresas aumenten su competitividad empresarial de manera sostenible, aumentando los niveles de calidad de vida, en el aspecto ambiental, económico y social, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes (López, Mayorga, y López, 2017):

- Certificaciones Ambientales.
- Etiquetado Ecológico.
- Auditorías Ambientales.
- Análisis del Ciclo de Vida.

Las certificaciones ambientales constituyen una herramienta enlazada al SGA implantado por la empresa, garantizando que el mismo sea eficaz y de calidad (Ortiz, 2009). Estas pueden ser emitidas por entidades certificadoras internacionales como la Organización Internacional de Normalización (conocida por las siglas ISO derivadas de su nombre original en inglés, International Organization for Standardization). Entre las certificaciones emitidas por la ISO, se puede mencionar la certificación de la norma ISO 14001, que se encuentra vinculada específicamente con el sistema de gestión de calidad. Dicha certificación es aplicable en todos los sectores de la industria u organizaciones del sector público o privado, independientemente de su tamaño o ubicación geográfica (López, 2017).

Para la certificación de la norma ISO 14001, la empresa debe cumplir con los principales requisitos de esta norma, tales como crear un plan de manejo ambiental, en el cual se describan políticas, objetivos y metas ambientales, establecer procedimientos que permitan cumplir esas metas. Así como también responsabilidades que estén definidas, actividades de capacitación al personal y un sistema que permita controlar cambios y avances realizados.

Así mismo la certificación de esta norma puede brindar ventajas para las empresas tales como: el mejoramiento de la imagen y reputación de esta; la apertura, expansión y oportunidad de crecimiento en mercados internacionales; acoger mayores clientes que se sensibilicen ante la protección del medio ambiente y aseguramiento del cumplimiento de requisitos legales relacionados con temas ambientales.

Por otro lado, *el etiquetado ecológico*, es otra de las herramientas de gestión ambiental, adoptado por las empresas de fabricación, como un distintivo a través del cual se identifica que el producto ha sido elaborado con el menor impacto posible en el medio ambiental. Representa un instrumento de gran utilidad para la empresa, para promover el diseño, producción y comercialización de productos de menor impacto ambiental y con los niveles necesarios de calidad y seguridad. Mientras que para los consumidores

brinda información que les permita escoger y usar productos menos perjudiciales para el ambiente (Massolo, 2015).

Con respecto al plástico este utiliza el etiquetado para diferenciar los tipos de plásticos con que se trabaja y así facilitar su reciclaje. Pues actualmente existen más de 100 tipos de plásticos entre los cuales 6 son los más comunes:

- Polietilen tereftalato (PET)
- Polietileno de alta densidad (HDPE/PEAD)
- Policloruro de vinilo (PVC)
- Polietileno de baja densidad (LDPE/PEBD)
- Polipropileno (PP)
- Poliestireno (PS)

Estos son identificados por un triangulito en cuyo centro está impreso un número el cual identifica el tipo de plástico que es, como se muestra a continuación en la figura 1.1:



Figura1.1: Sello para diferenciar los tipos de plásticos y para su posterior reciclaje.

Fuente: información proporcionada por la empresa.

Y los diferentes códigos de identificación de plástico en ingles son los que se muestran a continuación en la figura 1.2 códigos de identificación de plástico en inglés:

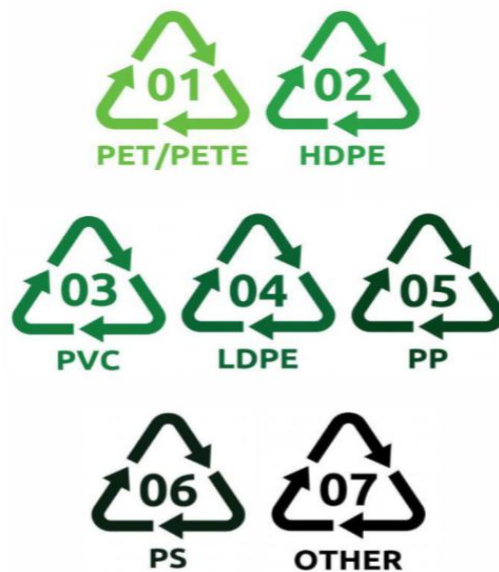


Figura1.2: Códigos de identificación de plástico en inglés.

Fuente: información proporcionada por la empresa.

Para el establecimiento de los criterios ecológicos en las normas y otros documentos, se tendrán en cuenta los elementos que puedan originarse en el ciclo de vida del producto o familia de productos en cuestión, los cuales considerarán la contaminación y degradación del suelo, el agua, la atmósfera, el ruido, el consumo de energía y recursos naturales como el hídrico, así como la repercusión en los ecosistemas (González, 2008)

De igual forma *la auditoría ambiental*, es otra herramienta de gestión ambiental, que permite realizar inspecciones físicas en determinados puntos concretos del proceso industrial, a fin de verificar el cumplimiento legal, identificar responsabilidades y riesgos importantes. En este contexto, auditar es propio de la gestión para conseguir la calidad total. Aquí se incluyen chequeos de los sistemas instalados para verificar si operan como deberían, permitiendo así una constante evaluación de mantenimiento de objetivos del conjunto operante (Moreno y Espí, 2007).

En el sector plástico a nivel mundial se han llevado a cabo Auditorías Ambientales con regularidad. A modo de ejemplo, Yenny P. Campos y Gladys A. Parra realizaron un diagnóstico ambiental de la planta de reciclaje de plástico. A.R.B, basado en la norma NTC-ISO 14001 (Bogota D.C, 2010). Concluyendo que en la planta no existe cumplimiento de la norma internacional NTC ISO 1401. Y que hay deficiencia en el manejo y control de los aspectos ambientales y de los impactos generados por las actividades propias de la empresa tales como: emisión atmosférica de gases como

CO₂ y ruido; vertimiento de grasas aceite y fenoles al agua, la cual no puede ser tratada pues no cuentan con un sistema de tratamiento de agua.

Las industrias plástico-cubanas no han estado exentas de la aplicación de esta herramienta, pues según el Folleto de Gestión Ambiental, Dra. Cira L. Issac y la Dra. Susana Díaz (noviembre, 2011), se exponen los pasos para llevar a cabo una auditoría ambiental en las industrias de plástico, explicando que la auditoría ambiental debe estar compuesta de una auditoría energética, de seguridad e higiene, administrativa-legislativa y económica - financiera.

Así mismo, el Análisis del Ciclo de Vida (ACV), es una herramienta que estudia los aspectos ambientales y los impactos potenciales a lo largo del ciclo de vida de un producto o de una actividad (Moreno y Espí, 2007). El desarrollo de este trabajo estará dedicado al estudio y aplicación de esta herramienta en la fábrica de plástico específicamente en la producción de botellas.

1.1.2 Análisis del Ciclo de Vida (ACV)

El ACV es una herramienta que se usa para evaluar el impacto potencial sobre el ambiente de un producto, proceso o actividad a lo largo de todo su ciclo de vida mediante la cuantificación del uso de recursos (entradas como energía, materias primas, agua) y emisiones ambientales (salidas al aire, agua y suelo) asociado con el sistema que se está evaluando.

El desarrollo del ACV se originó casi simultáneamente en Estados Unidos y Europa. Si bien el primer ACV fue realizado en 1969 por el Midwest Research Institute (MRI) para la Coca-Cola, donde la premisa fundamental fue disminuir el consumo de recursos y, por lo tanto, disminuir la cantidad de emisiones al ambiente. Los estudios continuaron durante los años setenta, y grupos como Franklin Associates Ltd. junto con la MRI realizaron más de 60 análisis usando métodos de balance de entradas/salidas e incorporando cálculos de energía.

Entre 1970 y 1974, la Environmental Protection Agency (EPA) realizó nueve estudios de envases para bebidas. Los resultados sugirieron no utilizar el ACV en cualquier estudio, especialmente para empresas pequeñas, ya que involucra costos altos, consume mucho tiempo e involucra micro-manejo en empresas privadas (Guía, 2001).

En Europa, estudios similares se realizaron en la década de los sesenta. En Gran Bretaña, Lan Boustead realizó un análisis de la energía consumida en la fabricación de envases (de vidrio, plástico, acero y aluminio) de bebidas. Pero fue a partir de los años ochenta cuando la aplicación del ACV se incrementó. En esta misma década fue cuando se desarrollaron dos cambios importantes: primero, los métodos para cuantificar el impacto del producto en distintas categorías de problemas ambientales (tal como el calentamiento global y agotamiento de los recursos); y segundo, los estudios de ACV comenzaron a estar disponibles para uso público.

La Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) es la principal organización que ha desarrollado y liderado las discusiones científicas acerca del ACV. En 1993, formuló el primer código internacional: Código de prácticas para el ACV (Code of Practice for Life Cycle Assessment), con el fin de homogeneizar los diversos estudios realizados para que siguieran una misma metodología. Esto impulsó el inicio de desarrollos masivos de ACV en diversas áreas de interés mundial, pues se realizaron conferencias, talleres y políticas sobre ACV.

Posteriormente, la ISO apoyó este desarrollo para establecer una estructura de trabajo, uniformizar métodos, procedimientos, y terminologías, debido a que cada vez se agregaban nuevas etapas, se creaban metodologías, índices, programas computacionales dedicados a realizar ACV en plantas industriales, etc.

Después de treinta años el ACV ha tenido un avance impresionante, sin embargo, se reconoce que la técnica está en una etapa temprana de su desarrollo. Muchos ACV realizados han sido parciales (sólo se ha practicado la fase de inventario) y aplicados mayoritariamente al sector de envases (aproximadamente un 50%), seguidos de los de la industria química y del plástico, los materiales de construcción y sistemas energéticos, y otros menores como los de pañales, residuos, etc. (Zaénz y Zufía, 1996). Sólo en los últimos años se ha podido introducir la fase de evaluación de impacto en los estudios realizados (Boletín IIE, 2003)

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 ecoeficiencia (Díaz, 2009).

El término ciclo de vida de un producto se refiere a todas las actividades llevadas a cabo desde la extracción de la materia prima necesaria para su fabricación, la transformación química o física realizada para la generación del producto, el uso de este por parte del consumidor y su posterior disposición final cuando culmina su vida útil (Polo, 2016). En la figura 1.3 se muestra el ciclo de vida de la producción de botellas para evaluar.

En la bibliografía consultada aparecen diferentes definiciones de ACV, algunas de las cuales son reflejadas más adelante, de acuerdo con estas el autor considera que el concepto expuesto en la ISO 14040: 2006 será el tomado en consideración pues explica los objetivos que se consiguen al aplicar la metodología siguiendo cada una de sus fases.

El ACV, es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto: compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema, evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio (ISO, 2006).



Figura1.3: Esquema del ciclo de vida de la producción de botellas para tener en cuenta para el ACV.

Fuente: Revista Industria Plástico, 2010

De acuerdo con (Castro, 2014) la complejidad del ACV requiere un protocolo al cual deberá ajustarse todo estudio. Dicho protocolo se encuentra establecido en la normativa elaborada por la ISO. En 1994, se estableció dentro de esta organización el comité técnico TC 207 relacionado con la normalización de herramientas ambientales, en ese

entonces los estudios de este tipo quedaron estructurados por un conjunto de cuatro normativas y tres informes técnicos.

- ISO 14040 (1997): especifica el marco general, principios y necesidades básicas para realizar un estudio de ACV.
- ISO 14041 (1998): en esta normativa se especifican las necesidades y procedimientos para elaborar la definición de los objetivos y alcance del estudio de un ACV.
- ISO 14042 (2000): en ella se describe y se establece una guía de la estructura general de la fase de análisis del impacto.
- ISO 14043 (2000): esta normativa proporciona las recomendaciones para realizar la fase de interpretación de un ACV o los estudios de un Inventario de Ciclo de Vida, en ella no se especifican metodologías determinadas para llevar a cabo esta fase.

Los documentos técnicos de consulta para la ejecución de un ACV son:

- ISO/TR 14047 (2002): proporciona un ejemplo de cómo aplicar la norma ISO 14042.
- ISO/CD TR 14048 (2002): este documento proporciona información en relación con los datos utilizados en un estudio de ACV.
- ISO/TR 14049 (2001): este informe técnico proporciona ejemplos para realizar un Inventario de Ciclo de Vida (ICV) de acuerdo con ISO 14041. Estos ejemplos deberán entenderse como no exclusivos y que reflejan parcialmente un Inventario de Ciclo de Vida.

Los estudios de ACV que se realizan para un sector o producto no pueden ser extrapolados a otro sector diferente, dados que los impactos que estos generan también difieren (Canellada, 2017). De esta manera hay actualmente estudios de ACV realizados para la gama de productos de plástico.

En la producción de envases plásticos (botellas PET), investigaciones realizadas según Armando Álvarez (24/2/2016) los impactos ambientales totales que genera un producto según el ACV van a ser los producidos a lo largo de todo su ciclo de vida y están relacionados entre otros aspectos con los consumos elevados de materias, energía y agua, el consumo energético del propio producto durante su uso, las emisiones directas o indirectas a la atmósfera o al agua, etc. Como consecuencia de estos aspectos se

produce entre otros impactos el agotamiento de recursos naturales, la disminución de calidad ambiental, el efecto invernadero o la eutrofización del medio.

Gracias a toda la información que nos aporta el ACV, este constituye un marco objetivo y científicamente robusto, para el apoyo en la toma de decisiones ambientales.

1.2 Caracterización de la fábrica de plástico

Los componentes principales de un plástico son polímeros o resinas artificiales, por lo general derivados de la celulosa y de los hidrocarburos. Para su utilización hay que añadirles otros productos que mejoran su flexibilidad, mala resistencia a bajas temperaturas y agrietamiento... estos productos son los modificantes (catalizadores, plastificantes, estabilizadores, cargas y pigmentos). Por último, para fabricar plástico con usos especiales se le añade armadura y refuerzos. (Díaz, 2009)

La obtención del plástico viene del petróleo, el cual se refina para formar moléculas orgánicas pequeñas, llamadas monómeros, que luego se cambian para formar polímeros resinosos, que se moldean o extruyen para fabricar productos de plásticos.

Del total del petróleo utilizado, el 70% se quema para producir energía, el 20% lo utilizan diferentes industrias, el 4% la industria petroquímica lo utiliza para diferentes usos y solo el 6% es empleado en la fabricación de plástico.

Los polímeros más utilizados por la fábrica (Hernández, 2010) son:

Polietileno tereftalato (PET)

Es una fuerte pero ligera forma de poliéster claro. Es usado en la fabricación de recipientes para bebidas, agua, aceites, limpiadores y envasado de alimentos.

Siendo un polímero, consiste en una larga cadena de moléculas donde las unidades de repetición son carbono, oxígeno e hidrógeno. La estructura molecular del PET hace de éste un material fuerte, ligero y transparente. Asimismo, sus propiedades físicas permiten una gran variedad de diseños.

Polietileno (PE)

Es un material termoplástico entre transparente y blanquecino que a menudo se fabrica en películas delgadas. Las secciones gruesas son traslúcidas y tienen apariencia cerosa. Con el uso de colorantes se obtienen una gran variedad de derivados coloreados.

Entre las propiedades más importantes del polietileno se pueden citar:

- Una gran tenacidad a temperatura ambiente y a bajas temperaturas, con suficiente resistencia para aplicaciones de producción;
- Una buena flexibilidad dentro de un amplio rango de temperaturas, incluso por debajo de $-73\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Una excelente resistencia a la corrosión y muy buenas propiedades aislantes.
- Es inodoro e insípido y transmite poco el vapor de agua.

Se emplea en contenedores, como aislante eléctrico, en la fabricación de material químico (tubos y varillas), en la fabricación de artículos para el hogar y de botellas moldeadas por insuflación de aire. También se usan películas de polietileno para empaquetamientos en general y recubrimiento de pozos y estanques.

Existen dos tipos principales de polietileno; polietileno de baja densidad (LDPE/PEBD) y polietileno de alta densidad (HDPE/PEAD). Pero existen otros dos tipos resultado de la variación de las condiciones de reacción.

Polietileno de baja densidad (LDPE/PEBD)

El LDPE tiene un extenso uso en películas para bolsas para alimentos, invernaderos, botellas, cable de aislamiento y productos moldeados por inyección.

Polietileno de alta densidad (HDPE/PEAD)

Es producido a relativamente baja temperatura ($60\text{--}200^{\circ}\text{C}$) y presión ($1\text{--}100\text{ atm}$). Tiene esencialmente una estructura de cadena lineal. Presenta ramificaciones muy pequeñas sobre las cadenas principales, y así las cadenas son capaces de agruparse más próximas con lo que se incrementa la cristalinidad ($80\text{--}95\%$) y la resistencia. Tiene un rango de densidad específica entre $0.94\text{--}0.97\text{ g/cm}^3$.

Sus principales aplicaciones se encuentran en la fabricación de películas (film), envases domésticos y para alimentos, juguetes, tanques de gas, tubos, cajones, etc. mediante moldeo por soplado y moldeo por inyección.

Polipropileno (PP)

Es sintetizado por la polimerización del propileno, lo cual resulta en dos tipos principales de polipropileno con aplicaciones comerciales.

El polipropileno presenta una variedad de propiedades que lo hacen muy atractivo para ser utilizado en la fabricación de productos manufacturados. Entre estas propiedades podemos citar: buena resistencia física a la humedad y al calor, baja densidad ($0.90 - 0.91 \text{ g/cm}^3$), buena dureza superficial y estabilidad dimensional, buenas características aislantes. El polipropileno posee una flexibilidad notable, lo que aconseja su uso en productos que requieran ser articulados. Estas características explican el crecimiento de este material en diferentes sectores.

Las principales aplicaciones comerciales del PP se dan en la manufactura de productos moldeados por inyección como productos para el hogar, electrodomésticos, envases, tubos, hojas y fibras textiles para las alfombras.

Poliestireno (PS)

El poliestireno es un material plástico transparente, inodoro, insípido y relativamente quebradizo (a no ser que se modifique esta propiedad). Junto al poliestireno con aspecto de cristal existen otras variedades de poliestirenos modificados con goma (que son resistentes a los impactos) y poliestirenos expandibles. El poliestireno es material de partida en la producción de algunos importantes copolímeros.

Los poliestirenos en general tienen buena estabilidad dimensional, baja contracción en moldeo y además se pueden procesar fácilmente con un bajo coste. Sin embargo, terminan siendo alterables a la intemperie y sensibles al ataque químico por disolventes orgánicos y aceites. Los poliestirenos poseen buenas propiedades mecánicas en el margen de las temperaturas de trabajo.

El poliestireno encuentra aplicación en el recubrimiento de interiores de automóviles, electrodomésticos, discos, manillares y utensilios de cocina en general.

Cloruro de polivinilo (PVC) y copolímeros

El PVC es una combinación química de carbono, hidrógeno y cloro. Sus materias primas provienen del petróleo (en un 43%) y de la sal común (en un 57%).

El extenso uso del PVC se atribuye principalmente a su alta resistencia química y su facilidad para ser mezclado con variedad de aditivos para dar lugar a un gran número de compuestos con una amplia gama de propiedades físicas y químicas.

Se obtiene por polimerización del cloruro de vinilo, fabricado a partir de cloro y etileno. Otra de sus muchas propiedades es su larga duración. Por este motivo, el PVC es utilizado a nivel mundial en un 55% del total de su producción en la industria de la construcción. El 64% de las aplicaciones del PVC tiene una vida útil entre 15 y 100 años, y es esencialmente utilizado para la fabricación de tubos, ventanas, puertas, persianas y muebles. Un 24% tiene una vida útil entre 2 y 15 años (utilizado para electrodomésticos, piezas de automóvil, mangueras, juguetes, etc.). El resto, 12%, es usado en aplicaciones de corta duración, como, por ejemplo, botellas, tarrinas, film de embalaje, etc., y tiene una vida útil entre 0 y 2 años. La mitad de este porcentaje (un 6%) es utilizado para envases y embalajes.

En Cuba contamos con la utilización de muchos de estos polímeros y entre los más usados se encuentran los mencionados anteriormente entre otros.

1.2.1 Comportamiento de la producción de plástico

Según Amaia Bilbao, Grupo Marino de Ecologistas en Acción (2015) en su informe menciona que la producción masiva de plástico se inició en la década de 1950 y ha aumentado exponencialmente de 1,5 millones de toneladas al año (AEMA, web) hasta niveles de 299 millones de toneladas en 2013 (Plastics Europe, 2015). Cerca de un tercio de la producción actual está integrado por envases desechables que se abandonan al cabo de un año más o menos (AEMA, web).

China es el principal país productor de plástico con un 24,8 % de la producción total (299 millones de toneladas) y Europa se encuentra en segundo lugar con una producción de 57 millones de toneladas de plástico convencional, lo que supuso un 20 % de la producción mundial (Plastics Europe, 2015). A pesar de la crisis económica actual, este sector industrial no ha visto mermada su producción en Europa y en los últimos 10 años la producción de plástico convencional se ha mantenido estable. Si bien, en este informe, Plastics Europe presume de un aumento del 40 % de plástico reciclado y recuperado desde 2006, esta cantidad equivale a 6,6 millones de toneladas. De esta forma, en 2013, 50,4 millones de toneladas seguían procediendo de material plástico nuevo.

En Cuba los insumos hechos de plástico, sobre todo vasos de 8 onzas y platos resultan productos cada vez más demandados para la actividad turística. La fábrica Electromecánica Escambray, ubicada entre el lomerío foméntense, asume la elaboración

del 70% de estos utensilios q abastecen el mencionado sector en todo el país (López, 2013).

Al cierre del año 2019, en vísperas a la visita realizada por el Presidente de los Consejo de Estados y de Ministros, Miguel Díaz - Canel Bermúdez a industrias de envase y embalaje en el país, la vicepresidenta de Industria, Yamilín Gonzales Milián comento que estas industrias han logrado cumplir con las necesidades de diferentes sectores con respecto al envase y el embalaje.

A la vez, menciono que se realizó un levantamiento exportable de la empresa de Recuperación de Materias Primas, entre otras. El cual permitió identificar cerca de 500 renglones para los que se requieren una cifra superior a los 2700 tipos de envases y embalajes, de los cuales más del 50% es de producción nacional. Y así continuar incrementando los niveles de reutilización de los envases de plástico y vidrio.

1.2.2 Líneas de producción de la fábrica

Las principales líneas de producción que presenta esta fábrica de la Empresa Militar Industrial Comandante Ernesto Che Guevara y los correspondientes productos son aquellos que se muestran en la tabla 1.1:

Tabla 1.1: principales líneas y productos plásticos:

Línea de producción	Productos
Envases de plástico	Botellas, frascos, galones, cajas, bolsas y cubetas.
Partes y piezas	Tuberías, uniones, codos, tapas y tapones
Menaje	Vajillas de plástico, baldes, tinas, jarras y vasijas
Artículos personales	Peines, ganchos, bolsos, adornos y calzado
Otros productos de plástico	Mangueras, sacos, mantas, hojas, laminados, mangas, tripas y cajas industriales

Fuente: Información proporcionada por la empresa

1.3 Labotella como producto de la fabricación de plástico

La botella de plástico es un envase muy utilizado en la comercialización de líquidos, es fabricada en gran variedad de materiales, escogidos en función de su aplicación. Estos materiales pueden ser: PEAD, PEBD, PET, PVC, PP, entre otros. Para la obtención de este producto existen tres tipos de métodos de fabricación:

- 1 **Inyección - soplado.** En primer lugar, se realiza la inyección del material en un molde como preforma. Posteriormente, se transfiere ésta al molde final y se procede al soplado con aire comprimido. En el momento en que se enfría, se retira el envase extrayendo el molde.
- 2 **Inyección-soplado-estirado.** El primer paso es el acondicionamiento de una preforma. Luego, se introduce en el molde y se pasa a la fase de soplado y estiramiento secuencial. Se espera a que se enfríe y se procede a la retirada del molde.
- 3 **Moldeo por extrusión-soplado.** Proceso en el que se sopla una manga tubular extruida llamada párisson, la cual se sella por la parte inferior al cerrar el molde, posteriormente se sopla y simultáneamente se enfría el plástico al pegar en las paredes del molde, posteriormente se desfoga el aire que se encuentra el interior de la pieza y se expulsa la misma al abrir el molde.

En este caso el método que estaremos abordando más adelante es el de inyección soplado para la fabricación de botellas de agua plástica.

1.3.1 Descripción general del proceso de producción de botellas de plástico

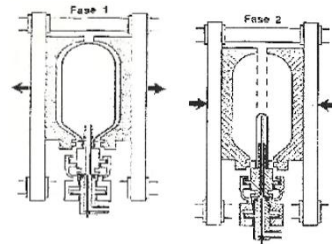
De forma general para poder obtener una botella de cualquier tipo de polímero hay que saber con qué capacidad máxima trabaja nuestro equipo de inyección - soplado y si esta capacidad es igual al peso necesario que debe de tener nuestro producto final según la cantidad de materia prima que se introduzca. Luego de tener esto muy claro procedemos a la introducción de la materia prima en la máquina de inyección en la cual obtenemos una preforma con la temperatura necesaria para después ser llevada al equipo de soplado en el cual se le da la terminación final a la botella.

Según Miguel A. Hernández (2012) este proceso se compone de varias fases, la primera es la obtención del material a soplar, después viene la fase de soplado que se realiza en el molde que tiene la geometría final, puede haber una fase intermedia entre las dos

anteriores para calentar el material si fuera necesario, seguidamente se enfría la pieza y por último se expulsa. Para facilitar el enfriamiento de la pieza los moldes están provistos de un sistema de refrigeración así se incrementa el nivel productivo.

1.3.2 Etapas del proceso de producción

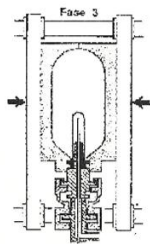
Las fases para el soplado de botella son (Hernández, 2012):



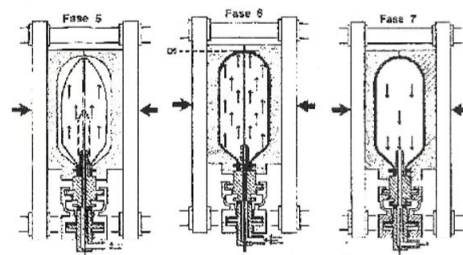
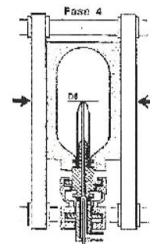
El moldeo se abre y entra la preforma a moldear.

La varilla comienza a ascender estirando la preforma.

Un detector abre la válvula de pre-soplado.



Simultáneamente con el cierre del molde la varilla de estiramiento penetra en la preforma.

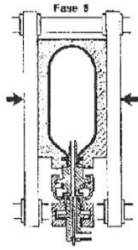


La botella toma forma bajo la acción combinada de pre-soplado y el estiramiento de la varilla que continúa subiendo.

Una vez que la varilla toca el final del molde, otro detector, abre la válvula de soplado final, la botella se adapta al molde frío copiándolo.

La válvula de soplado se cierra y se abre la válvula de descarga mientras la varilla descende.

El moldeo contiene la botella soplada y está listo para abrirse y expulsar la misma fuera del molde.



1.3.3 Clasificación de las botellas

Las botellas de plástico se pueden clasificar de acuerdo con su capacidad de almacenamiento, forma, color y tipo de plástico utilizado. También se identifican según el producto que en ella se valla a introducir como son:

- Botellas para refrescos
- Botellas para jugos
- Botellas para artículos de limpieza
- Botellas para aceites y lubricantes
- Botellas para productos medicinales
- Botellas para productos alimenticios
- Botellas para productos químicos
- Botellas para esencias aromáticas (perfumes, lociones)

1.4 Impactos ambientales del sector plástico

Los principales problemas ambientales generados por la industria del plástico son efectos sobre la salud humana, destrucción sobre el ecosistema afectando especies animales y vegetales, deterioro de la calidad del agua y suelo, generación de olores y ruido, deterioro del paisaje y entorno geográfico. Sin embargo Albarrán Díaz de León (2005), considera que los problemas ambientales más importantes de la producción de plástico son: la utilización del termoplástico poliestireno, pues en la producción de Panel Aislante de Espuma Regido de Poliestireno (PAERP) se encuentra el 29,89% del total de los daños causados al medio ambiente; y la emisión a la atmosfera de hidroclorofluorocarbono 142B/R22 durante el proceso de transformación del PAERP, las cuales contribuyen con el 69,89% del total de daños.

Es importante señalar que el proceso de fabricación de plástico se ha optimizado a lo largo de décadas, dando origen tanto a economías de escala como a sustantivas mejoras en el control de emisiones y efluentes.

1.4.1 Efectos sobre la salud humana

Entre los efectos sobre la salud humana tenemos los resultados obtenidos por Estados Unidos sobre residuo de acetaldehído en tereftalato de polietileno PET, el cual demostró que, durante la degradación térmica del PET, cuando el polímero es de un alto nivel de acetaldehído puede añadir o cambiar el sabor de los alimentos y en los seres humanos probablemente podría llegar a ser cancerígeno (Dabrowska, Borcz, y Nawrocki, 2003).

A los plásticos se les atribuye problemas de fertilidad en hombre y mujeres, asma, cáncer especialmente en la mama y problemas endocrinológicos entre otros. (Anónimo, 2013).

1.5 Metodología para el Análisis del Ciclo de Vida

La norma ISO 14040:1997 establece que “el ACV es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados con un producto, lo cual se efectúa recopilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema; evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio”.

La metodología considera una serie de fases de trabajo interrelacionadas, que siguen una secuencia más o menos definida, aunque en ocasiones es posible realizar un estudio no tan ambicioso obviando alguna fase. De acuerdo con la ISO 14040, el ACV consta de cuatro fases: definición de los objetivos y el alcance, análisis del inventario, evaluación del impacto e interpretación de resultados (ver figura 1.4).

Las fases activas o dinámicas, en las que se recopilan y evalúan los datos, son la segunda y la tercera. Las fases primera y cuarta pueden considerarse como fases estáticas. A partir de los resultados de una fase pueden reconsiderarse las hipótesis de la fase anterior y reconducirla hacia el camino que ofrezca el nuevo conocimiento adquirido. El ACV es, por lo tanto, un proceso que se retroalimenta y se enriquece a medida que se realiza.

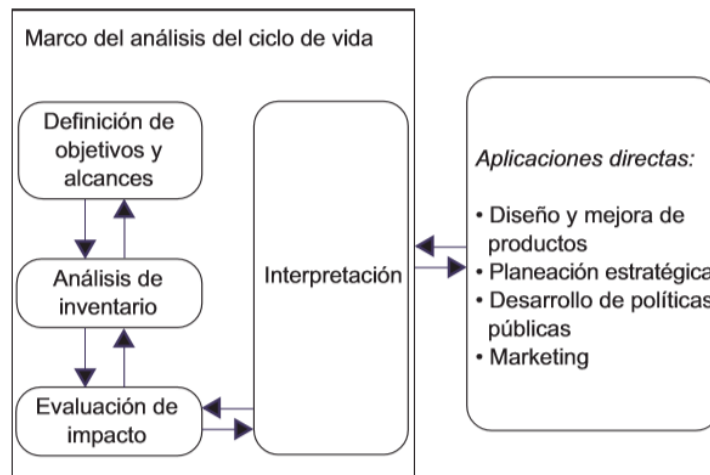


Figura1.4: Fases de un ACV de acuerdo con la serie de normas ISO 14040. **Fuente:** norma ISO 14040

Definición de los objetivos y alcance del ACV: 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.

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.
- 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 de este.

b.1) Definir función y unidad funcional

b.2) Definir los límites del sistema.

b.3) Requisitos de calidad de los datos

Análisis del 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.

El proceso de realización de un análisis del inventario es iterativo. 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 estos para que se pueda seguir cumpliendo el objetivo del estudio.

c) Recolectar los datos.

d) Construir los diagramas de procesos

e) Procesar los datos

Evaluación del impacto: Este tercer elemento del ACV, tiene por objetivo valorar los resultados del análisis del inventario del producto o servicio en cuestión, cuantificando los posibles impactos medioambientales. Consta de una fase técnica, considerada obligatoria por la metodología y, otra opcional (de carácter político), por parte del interesado del proyecto. Los resultados tienen un valor informativo añadido para la toma de decisiones.

Asimismo, con respecto a los elementos opcionales e informaciones, mientras sean optativos, también se hacen algunas consideraciones de importancia y pasos a seguir para su elaboración.

f) Definir categorías de impacto.

g) Clasificar resultados del análisis del inventario.

h) Calcular los indicadores de categoría

Análisis de mejoras: 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 incertidumbre, 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.

Los resultados de esta interpretación pueden adquirir formas de conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones, siendo consistente con el objetivo y alcance del estudio.

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.

i) Reporte y análisis de mejoras.

CAPITULO II: PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA CUBETA DE PLÁSTICO

2.1 Características de la Empresa Militar Industrial Comandante Ernesto Che Guevara

La Empresa Militar Industrial Comandante Ernesto Che Guevara se localiza al sur de la provincia de Villa Clara, en el municipio de Manicaragua. Inicialmente fue fundada con el nombre Empresa Militar Julius Fucik el 9 de octubre de 1962 por el Ministro de Industrias Comandante Ernesto Che Guevara de La Serna, con el objetivo de resolver las reparaciones generales de los medios técnicos de combate de nuestras Fuerzas Armadas Revolucionarias (FAR). Y fue el 9 de octubre de 1987 en la celebración del XV aniversario de la fundación de la Empresa se decide por el Consejo de Estado, a propuesta de los trabajadores, que la nueva Empresa surgida de aquella pequeña fábrica, desarrollada y modernizada a partir de 1975 llevará el glorioso nombre de su fundador el comandante Ernesto Che Guevara. La Empresa se encuentra estructurada en dos

áreas: el área de productos militares y el área de producción para la economía. Según su estructura organizativa esta cuenta con un director general, dos coordinadores, 8 direcciones funcionales, 11 unidades básicas, 5 fábricas productivas y 8 departamentos independientes.

2.1.1 Historia de la Empresa Militar Industrial Comandante Ernesto Che Guevara

La EMI se encuentra enclavada en los terrenos de la Finca La Campana con fértiles y productivas tierras, así como hermosas bellezas naturales, lo que antes del triunfo de la Revolución era propiedad del terrateniente Ignacio Álvarez, donde trabajaban obreros que eran explotados miserablemente por esa burguesía. Estas tierras estaban dedicadas principalmente a la crianza de ganados.

Es a finales del año 1960 cuando por iniciativa del Comandante Ernesto Che Guevara se decide la construcción y el montaje de la Fábrica de Municiones de Infantería, la que inicialmente fue contratada a la República Socialista de Checoslovaquia. El Che toma la decisión de construir y montar esta en este lugar, por las características que reunía esta zona central del país protegida por los aires salinos y la protección natural de las montañas del Escambray, así como la creación de una industria que posibilitara fuente de trabajo para los habitantes de la zona.

En el mismo año se comienza la ejecución civil por parte de Obras Públicas, más tarde MICONS. Ha mediado del año 1961 son citados los primeros 5 compañeros que formarían parte de la Dirección de la Fábrica, para el Edificio del INRA, hoy EMG, donde estaban las oficinas del Ministerio de la Industria, en este lugar se entrevistaron a los 5 compañeros para conocer la disposición de cada uno de ellos para cumplir la misión, siendo aceptada por toda la tarea.

Durante el mes de junio del 1961 visitan las áreas donde ya se construía nuestra futura Fábrica, se comienza el movimiento de tierra, excavaciones, fundiciones de cimientos y otros trabajos preparatorios.

El 29 de julio de 1961 partieron los 5 compañeros para la República de Checoslovaquia donde permanecieron hasta el mes de noviembre del propio año con el fin de realizar las prácticas para las responsabilidades que cada uno asumiría. Para esta etapa el nombre

conocido fue de “Fábrica de Herramientas # 2”, subordinada al Ministerio de la Industria.

En junio de 1962 son recibidos en el aeropuerto José Martí de la Ciudad de la Habana los primeros técnicos checos para iniciar el montaje de nuestra fábrica de municiones de infantería. Durante este año el Comandante Ernesto Che Guevara realiza visitas a la Industria, reconociendo el trabajo que se ha realizado por los constructores, técnicos checos y cubanos.

El 9 de octubre de 1962 se realiza la prueba en la Nave-16 de los primeros cartuchos Calibre 9 mm parabelum con la presencia de los técnicos checos, cubanos y el administrador Antonio del Conde Pontones (El Cuate).

Así el 9 de octubre de 1962 comienza la producción de la naciente Industria Militar, conocida entonces como Fábrica de Herramientas “La Campana” y subordinada al Ministerio de Industria. Eran aquellos primeros años de difíciles condiciones, con apenas escasas fuerzas de trabajo calificada, pero donde en cada momento se manifestaba el espíritu de victoria y consagración de nuestro colectivo a la causa de la defensa del país, apoyado por las visitas de trabajo del entonces ministro de esta rama el comandante Ernesto Che Guevara, nuestro fundador.

En junio del año 1963 pasa a dirigir la Empresa el compañero Oscar Cartaya Guzmán perteneciente a la Rama de la Química Básica, manteniéndose, trabajando las dos líneas de producción de los cartuchos 9 mm Modelo 43 y el 7,62 mm Modelo 52, tropezándose con los problemas lógicos del aprendizaje por parte de operadoras y preparadores mecánicos.

El 5 de diciembre de 1964 en acto oficial se debeló una tarja de “Julios Fucik” por personal de la Embajada Checa, que participó en esta actividad, quedando inaugurada esta Fábrica; hizo uso de la palabra el Embajador de ese país.

En los años 1973 y 1974 visitan a la Empresa un grupo de especialistas soviéticos con el fin de estudiar y recopilar datos técnicos para la ampliación y modernización de nuestro centro, para la actividad de municiones de infantería 7.62 mm AK ordinarios y trazadores. En 1975 se comienza entonces la construcción de los talleres 24 y 25 y la remodelación del taller 11.

El día 9 de octubre en acto por la celebración por el XXV Aniversario de la Fundación de la Empresa se decide por el Consejo de Estado, a propuesta de los trabajadores, que la nueva Empresa surgida de aquella pequeña fábrica, desarrollada y modernizada a partir de 1975 llevara el glorioso nombre de su fundador el “Comandante Ernesto Che Guevara” y la fábrica iniciadora continuara llamándose “Julius Fucik” en honor al valeroso luchador antifascista checo.

Y es a finales de los 90 cuando se comienzan a planificar la construcción y acondicionamientos de instalaciones para la producción de plástico, como se muestra en las imágenes siguientes.

En 1998 producto a la reducción de la demanda de las FAR se inicia el Redimensionamiento de la EMI, permitiendo liberar instalaciones para el futuro desarrollo de las producciones de plástico.



**Año 2000, inauguración
Fábrica de Bolsas Plásticas.**

2.1.2 Planeación estratégica de la Empresa Militar Industrial Comandante Ernesto Che Guevara

Entre los planeamientos estratégicos de la Empresa para el año 2020 están:

Misión:

La Empresa Militar Industrial “Comandante Ernesto Che Guevara” satisface necesidades de las FAR y la economía nacional con productos competitivos y de calidad, contribuye decisivamente a elevar la capacidad combativa de las FAR y su autofinanciamiento.

Visión:

Somos una organización perfeccionada de avanzada, que ostenta el premio de Empresa Innovadora de la República de Cuba, a partir de procesos sostenibles con tecnología de punta, y que abandera la excelencia, la calidad y la mejora continua como elementos claves de su competitividad

2.1.3 Cartera de Productos

La Empresa tiene un objeto social que consiste en fabricar, reparar, desarrollar, y modernizar municiones de infantería, artillería e ingenierías y medios para la técnica militar destinada el potencial tecnológico excedente de su objeto principal a la satisfacción de las demandas de la economía en el perfil mecánico, electrónico, plástico y otros integrados por los productos: moldes y troqueles, elementos troquelados de diferentes usos, cartuchos de caza, cartucho 5,6, medios y equipos de uso industrial y de transporte, elementos y artículos plásticos, elementos para explosivos industriales, visualizadores de cota, rectificadores para baños galvánicos y otros trabajos de automatización industrial, reparación y modernización de máquinas de herramientas, fabricación y reparación de medios de pasaje y servicios metrológicos, fabricación, reparación y mantenimiento de antenas parabólicas, investigación y desarrollo de explosivos para las FAR y economía. Ejecuta la desactivación de la técnica y el armamento y la comercialización de piezas, agregados y materias primas producto de la desactivación. Realiza la actividad productiva que requiere las acciones constructivas y

de servicios para la conservación y rehabilitación de las viviendas vinculadas y medios básicos de las FAR, así como la actividad comercial dirigida a la venta de fondos mercantiles y recursos materiales para los mismos. Realiza los servicios de investigación y desarrollo solicitados por sus clientes en el marco de las actividades que realizan. Comercializa las producciones y los servicios tanto en moneda nacional como en moneda libremente convertible.

2.1.4 Comportamiento de la producción de plástico en los años 2017 – 2019

En la tabla a continuación se muestra la relación de la producción de plástico entre los años 2017 – 2019 en la Empresa Militar Industrial Comandante Ernesto Che Guevara.

Tabla2.1: Comportamiento de la producción de plástico en la fábrica de la campana entre los años 2017 – 2019 de forma general.

Productos	Año 2017	Año 2018	Año 2019
Botellas	87900043	215675600	144387900
Frascos	76309	68634783	899547
Galones	683900	47364873	82730
Cajas	86346	2334432	2344000
Bolsas	3454500	546700	3464740
Cubetas	4576780	4467700	35546770
Tuberías	925650	8744350	2355850
Uniones	863595	876434	98634593
Codos	84638	66578	86463
Tapas	98593	245677	266878
Tapones	562384	3234578	873480
Vajillas de plástico	98364870	788678	35466
Baldes	544464	587246	437568
Tinas	28345438	9638548	6742394
Jarras	2549834	98745538	675438
Vasijas	6542382	9865873	65423824
Peines	675242	73452384	873628
Ganchos	8732548	5478595	764633
Bolsos	75700889	757343	6754653

Adornos	4367658	34676587	54748878
Calzados	32589497	89614555	963229555
Mangueras	8754321548	963452983	87893458
Sacos	79345986	637866	56367232
Mantas	65238462	8435543	467373
Hojas	16382498	136325	431234
Laminados	183623384	891644591	16341434
Mangas	72813844	6329521981	675325983
Cajas industriales	17548547	9862353	785359236

Fuente: Información proporcionada por la empresa.

2.2 Situación ambiental de la Empresa Militar Industrial Comandante Ernesto Che Guevara

2.2.1 Antecedentes

La Empresa Militar Industrial Comandante Ernesto Che Guevara, en su concepción ambiental se ha ido adaptando a través del transcurso del tiempo a las modificaciones con respecto a la protección del medio ambiente y atender las inquietudes de la sociedad y el mantener un buen desarrollo Sostenible en todas las actuaciones de la vida diaria, reconoce además que las actividades vinculadas con su proceso de producción pueden poner en peligro el medio ambiente y la salud de los trabajadores y la población en general.

En la actualidad se ha visto seriamente afectada por el estado obsoleto de sus tecnologías, lo que trae consigo que los residuos generados por sus producciones principales cada día sean mayores debido en lo fundamental a los derrames producidos por roturas imprevistas de los diferentes equipos. Es por ello que la dirección se compromete a desarrollar sus actividades con el debido respeto por la protección del medio ambiente, y a mejorar continuamente sus prácticas medioambientales cuya implantación será responsabilidad de todos sus dirigentes y trabajadores.

2.2.2 Situación ambiental actual

En la Empresa se realizan controles a la actividad de medio ambiente, al principio era controlada como parte de la Dirección de Ingeniería, después del año 2006 y hasta estos

momentos integra el Departamento de Gestión de Seguridad, Salud y Medio Ambiente del Trabajo (GSSMAT), siendo controlada por los órganos rectores y superiores. A raíz de establecerse en el país regulaciones con respecto a esta temática, se hacen más sistemáticos y rigurosos estos controles, específicamente a partir del 2002 que se pone en vigor la *Orden No. 337 del ministro de las Fuerzas Armadas Revolucionarias, para establecer la Estrategia Ambiental en las FAR*.

De acuerdo con los últimos diagnósticos ambientales realizados por los especialistas de la empresa se destacaron una serie de problemas ambientales que atentan contra la salud de los trabajadores y el ecosistema, estos son:

- Las insuficientes trampas de grasas y residuos sólidos, en diferentes áreas donde se requieren, como son: Taller 19 de la Fca-10, Taller 25 de la Fca-5, U. Transporte y los Comedores.
- Salideros de grasa, aceites y combustibles en determinadas áreas de la empresa.
- No culminación del tratamiento final a los residuales de TNT.
- Existen dificultades con el destino final del percloroetileno, producto químico en estado líquido, que después de reutilizarse y perder sus propiedades para usarlo nuevamente, no es aceptado por materia prima.
- Falta de mantenimiento a las plantas de tratamiento de residuales de la empresa.
- No existe sistema de monitoreo de emisiones o concentraciones de contaminantes en el aire, solo se determinó en un tiempo el contenido de TNT en el ambiente de trabajo, pero en los momentos actuales esta medición no se realiza.
- En las áreas galvánicas, de fundición y tratamiento térmico, existen sistemas de extracción para los vapores tóxicos, pero no se encuentran en buen estado por lo que no funcionan eficientemente.
- Los lodos sólidos generados en los tratamientos de residuales líquidos son evacuados a fosas de disposición intermedias, hasta que se defina a nivel de país que hacer con los mismos. En algunos lugares, estas fosas se encuentran llenas, por lo que se requiere construir nuevas. (Residuales T-22 A).
- Con respecto al bimetálico y el aluminio existe una difícil situación en cuanto a almacenaje, pues la empresa no cuenta con almacenes y actualmente se encuentran incorrectamente ubicados, a la intemperie, en áreas del Polígono del Norte.

- Existen además dificultades con el destino final de residuos sólidos no aceptados por materia prima:
 - Residuos, producto de la transformación del plástico, que no pueden ser reutilizados (mazarota).
 - Desechos de polietileno tereftalato de etileno (PET), así como producciones rechazadas por problemas de calidad.
 - Escoria de plomo contaminada con tierra, como resultado de la fundición de dicho metal.

Pero a pesar de estos problemas la Empresa Militar Industrial Comandante Ernesto Che Guevara también cuenta con buenas prácticas como son:

- Se encuentran identificados los puntos de vertimiento de aguas residuales, existiendo cuatro puntos donde se vierte residual industrial con sus respectivas plantas de tratamiento y cuatro puntos de vertimiento de residuales albañales con sus respectivas lagunas de oxidación. Todos se encuentran caracterizados, cumplen con las **NC 27/99 y 24/99** de vertimientos.
- Existe un sistema de monitoreo de descargas, así como se encuentra establecida la frecuencia de los análisis y se registran los resultados.
- Los residuos tecnológicos como resultado de algunas producciones militares son destruidos por voladura o quema, en pequeñas cantidades, según tecnología, en los campos de destrucción habilitados para ello.

2.3 Descripción del proceso de obtención de botellas PET

Con el objetivo de realizar un estudio de análisis de ciclo de vida en la Empresa Militar Industrial Comandante Ernesto Che Guevara, se toma como referencia la fábrica por inyección - soplado, y de sus producciones la botella PET, debido a los impactos ambientales generados por este producto durante su ciclo de vida.

2.3.1 Proceso para la elaboración de la botellas PET

La elaboración de botellas PET y tapas PP se realizan mediante los pasos que se mencionan a continuación. (Barcia y Carpio, 2017)

Producción de botellas PET

La materia prima que entra para la producción de botellas es el PET, a partir de esto el proceso sigue los siguientes pasos:

□ Inyección

El PET ingresa desde el deshumidificador hacia una máquina Inyectora por medio de un tubo aspirador. En la inyectora el material se almacena en una tolva en la que también se agrega el colorante o pigmento, en caso de necesitar. Desde la tolva la resina pasa hacia un tornillo sin fin rodeado de resistencias eléctricas que elevan la temperatura del material para derretirlo y así permitir que este fluya hacia un molde en el que toma la forma de preformas. El material en el molde, ya con la forma respectiva de las preformas, se enfría por medio de un flujo de agua fría que recorre el molde. De aquí salen preformas como producto en proceso.

□ Soplado

Las preformas ingresan a un horno en las que se calientan, luego pasan a colocarse en un molde en el que se las sopla con aire comprimido a alta presión para que tome la forma del molde; esto ocurre en una máquina Sopladora. De este proceso salen las botellas como producto final.

En la figura siguiente se muestra la preforma que se obtiene en el proceso de inyección del PET la cual es luego introducida en la máquina de soplado para así darle forma a la botella.

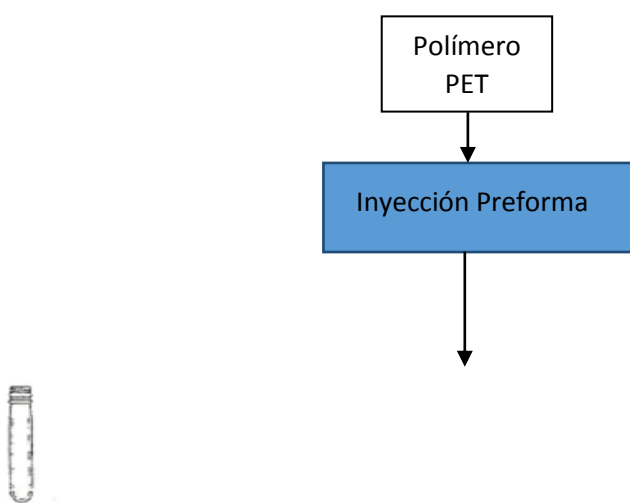


Figura 2.1: Diagrama de preforma de una botella de PET. **Fuente:** Información Proporcionada por la empresa.

Producción de tapas PP

La materia prima que entra para la producción tapas es el Polipropileno (PP), a partir de esto el proceso sigue los siguientes pasos:

☐ Molde por Compresión

El PP ingresa a la tolva de la máquina Moldeadora, luego pasa al tornillo sin fin cuyas resistencias eléctricas lo calientan hasta derretirlo y así empieza a fluir a lo largo de este. Después, gotas de material derretido caen en cada una de las cavidades (moldes) o pares macho-hembra de la máquina. Posterior a esto, pistones neumáticos cierran dichas cavidades comprimiendo el material derretido de tal forma que adquiere la forma del molde. Un flujo de agua fría que pasa por dichas cavidades enfría el material para que luego se forme el capuchón de tapa en estado sólido. De este proceso salen los capuchones como producto en proceso.

☐ Cortado

Los capuchones de tapas ingresan a una máquina Cortadora o Cutter, en la que pasan a lo largo de una cuchilla que les hace un corte para que se forme el sello de seguridad que debe romperse al momento de abrir cualquier tapa. De este proceso salen las tapas como producto final. Para todos los procesos indicados anteriormente, es necesario que paralelamente funcione un sistema de aire comprimido y enfriamiento de agua, ambos de ciclo cerrado.

2.3.2 Características de las materias primas empleadas en la producción de botellas de plástico

• PET

El PET o polietilentereftalato utilizado en la botella es un termoplástico de alta resistencia a la presión interna y al impacto, de excelente claridad y baja permeabilidad a los gases, lo que lo convierte en un material especialmente idóneo para el uso en la producción de envases para bebidas carbonatadas.

El tereftalato de polietileno, politereftalato de etileno, polietilentereftalato o polietileno Tereftalato (más conocido por sus siglas en inglés PET) es un tipo de plástico muy usado en envases de bebidas y textiles. Algunas compañías manufacturan el PET y otros

poliésteres bajo diferentes marcas comerciales. Químicamente el PET es un polímero que se obtiene mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol. Pertenece al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres.

El polietilentereftalato (PET), es un polímero plástico, lineal, con alto grado de cristalinidad y termoplástico en su comportamiento, lo cual lo hace apto para ser transformado mediante procesos de extrusión, inyección, inyección-soplado y termoformado. Es extremadamente duro, resistente al desgaste, dimensionalmente estable, resistente a los químicos.

Propiedades del PET

En la siguiente tabla se muestran las propiedades de forma general con las que se trabaja PET en la fábrica.

Tabla 2.2: Propiedades del PET.

PET	
Formula Molecular	$(C_{10}H_8O_4)_n$
Densidad amorfa	1,370 g/cm ³
Densidad cristalina	1,455 g/cm ³
Módulo de Young	2800–3100 mili pascal
Presión	55–75 Pascal
Límite elástico	50–150%
notch test	3,6 kJ/m ²
Glasstemperature	75 °C
Punto de fusión	260 °C
Vicat B	170 °C
Conductividad térmica	0,24 W/(m·K)
Coefficiente de dilatación lineal	$7 \times 10^{-5}/K$
Calor específico	1,0 kJ/(kg·K)
Absorción de agua	0,16
Índice de refracción	1,5750
Source: A.K. van der Vegt & L.E. Govaert, Polymeren, van keten tot kunststof, ISBN 90-407-2388-5	

Fuente: Información proporcionada por la empresa

2.3.3 Máquinas de soplado PET

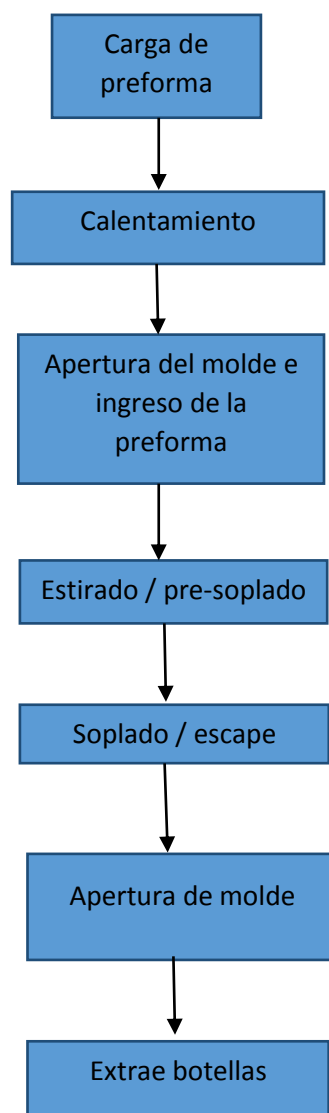
Las máquinas sopladoras de envases PET están compuestas por un molde de dos mitades, generalmente simétricas, sobre las cuales se moldea la botella deseada.

Para ello se hace ingresar en su interior una “preforma” de PET (Tereftalato de Polietileno), previamente calentada en los hornos, y se la estira mecánicamente al

tiempo que se realiza un “pre-soplado” a presión de 6 a 12 bar seguida del soplado propiamente dicho a 40 bar.

Además de la función principal descrita, hay otras partes que complementan a esta y que son la carga de preformas y la descarga de botellas. Estas funciones pueden también hacerse manualmente si las producciones no son altas.

Un diagrama de flujo del proceso de soplado en botellas PET se presenta a continuación en forma general:



Las operaciones estrictamente secuenciales y que por lo tanto definen el ciclo de la máquina van desde la apertura del molde para ingresar preformas – sacar envases, hasta

el escape de aire a alta presión. Las otras operaciones se realizan en simultaneo y por lo tanto no agregan tiempo al ciclo.

A continuación, mostramos las maquinas con las que se realizan estos procesos:

Para la producción de botellas PET



Figura 2.2: Maquina de Inyectora de PET, HAITIAN. Modelo HTF 360X, procedente de China. **Fuente:** Información proporcionada por la empresa.



Figura 2.3: Maquina de sopladora de botellas Semi- Automática, TWO STEP SEMI-AUTOMATIC BOTTLE – BLOWING MACHINE. Modelo JD – S4, procedente de China, cavidades 4, potencia 14 kw. **Fuente:** Información proporcionada por la empresa.



Figura 2.4: Maquina de Sopladora Automática de PET BOTTLE BLOWING MACHINE. Modelo AL – 3000, procedente de China, cavidades 3, Potencia 16 kw. **Fuente:** Información proporcionada por la empresa.

Máquina de Producción de tapas PP



Figura 2.5: Maquina de Moldeadora de Tapas por Compresión, MIN FENG CAP MACHINE. Modelo MF – 30B, procedente de China, Cavidades 24, potencia 20 kwy energía eléctrica consumida aproximadamente 15 kw. **Fuente:** Información proporcionada por la empresa.

2.4 Metodología de Análisis de Ciclo de Vida

A partir de los estudios documentales se decide aplicar la metodología definida en las normas ISO: 14040 - ISO: 14043 para valorar mediante un análisis de ciclo de vida los impactos ambientales del proceso de producción de botella, para lo cual se adoptó dicha metodología a las condiciones del objeto de estudio. La misma consta de cuatro etapas fundamentales tal y como se mencionó en el epígrafe 1.5

2.4.1 Etapa 1: Objetivo y alcance

La primera etapa para el desarrollo de un ACV consiste en la definición del objetivo de forma clara y consistente, estableciendo la finalidad del estudio, el producto implicado, la audiencia la que se dirige, magnitud del estudio, las razones por las cuales se efectúa del estudio (Institute for Environment and Sustainability, 2010). Posteriormente en

necesario plantear el alcance, el cual debe ser considerar la extensión, la profundidad y el detalle del estudio, además de los siguientes puntos:

- Las funciones del sistema o de los sistemas si se trata de estudios comparativos
- La unidad funcional
- El sistema que se va a estudiar
- Los límites del sistema del producto o servicio
- Los procedimientos de asignación
- Los tipos de impacto y la metodología de la evaluación del impacto, así como la interpretación posterior que se va a usar
- Los requisitos de los datos
- Los supuestos
- Las limitaciones
- Los requisitos de calidad de los datos iniciales
- El tipo de revisión crítica
- El tipo y el formato del informe que se requiere para el estudio

Lo anterior para tener seguridad de que todas las consideraciones sean compatible y suficientes para lograr el objeto previsto (Instituto Mexicano de Normalización y Certificación, 2008).

Función del sistema

La función del sistema define las características de operación del mismo. Hay que destacar que un sistema puede tener más de una función. Por lo anterior, si se pretende comparar dos sistemas diferentes, es preciso que desarrollen la misma función (Instituto Mexicano de Normalización y Certificación, 2008).

Unidad funcional

Proporciona una base de cálculo, a partir de la cual son matemáticamente normalizados todos los datos de entradas y salidas para asegurar la compatibilidad de los resultados del ACV, en otras palabras, la unidad funcional es una base de cálculo (Institute for Environment and Sustainability, 2010).

Sistema y límites del sistema

El sistema se define como el conjunto de procesos unitarios o subsistemas necesarios que conectado material y energéticamente permiten la presencia del producto estudiado en el mercado. El sistema se suele representar por medio de un diagrama de proceso.

Los límites del sistema definen los procesos unitarios a ser incluidos en el sistema. Por tanto, es esta etapa del ACV toma decisiones respecto a que procesos unitarios serán modelados y el nivel de detalle con que serán estudiados. También se toman decisiones relativas a las emisiones al ambiente que serán evaluadas y el nivel de detalle de esta evaluación (Instituto Mexicano de Normalización y Certificación, 2008).

La elección de los elementos del sistema a modelar depende de la definición del objetivo y el alcance del estudio, de su aplicación y público previsto, de las suposiciones realizadas, de las restricciones en cuanto a datos y costos, entre otros. Cuando se establecen los límites del sistema, se considera varias etapas del ciclo de vida, procesos unitarios y flujos, por ejemplo, los siguientes (Institute for Environment and Sustainability, 2010).

- Adquisición de materias primas (a cuál incluye todas las operaciones para la extracción de materias primas).
- Entradas salidas en la secuencia principal de fabricación/procesamiento.
- Distribución/transporte.
- Producción y utilización de combustibles, electricidad y calor.
- Utilización y mantenimiento de productos.
- Disposición de los residuos del proceso y de los productos.
- Recuperación de productos utilizados (reutilización, reciclado y recuperación de energía).
- Producción de materiales secundarios.
- Producción, mantenimientos y desmantelamiento de los equipos, entre otros.

2.4.2 Etapa 2: Análisis de inventario

La etapa 2 consiste en la elaboración del Análisis de Inventario e implica la recopilación de datos y los procedimientos de cálculo para cuantificar los flujos masa y energía que entran y salen del sistema durante todo el ciclo de vida, tomando como referencia la unidad funcional (Wittmaier y Langer, 2009).

Las entradas cuantificadas incluyen el uso de energía y materias primas como el agua, los combustibles fósiles y electricidad. Por su parte las salidas cuantificadas incluyen las emisiones al aire, agua, suelo, subproductos y otros residuos.

La realización de un análisis de inventario es un proceso iterativo. A medida que se recopilan los datos y se conoce mejor el sistema, pueden identificarse nuevos requisitos o limitaciones relativos a los datos que pueden conllevar un cambio con el procedimiento de obtención de los datos para que se pueda seguir cumpliendo el objetivo del estudio.

En resumen, el desarrollo del Análisis de Inventario consta de tres pasos generales:

- Hacer un diagrama de flujo ilustrando las entradas y salidas de las etapas que están siendo evaluadas.
- Recopilación de los datos, consiste en llenar las hojas de cálculo o diagramas de flujos con la información numérica para cada corriente de los procesos considerados en el estudio.
- Señalar la calidad de los datos que se recopilarán para el estudio, dicha calidad dependerá de la precisión de los resultados esperados y de la disponibilidad de tiempo y recursos.

2.4.3 Etapa 3: Evaluación de impacto

La etapa 3 que consiste en la evaluación de impactos, tiene como fundamento que los flujos de salida (principalmente las emisiones al aire, descargas al agua y generación de residuos sólidos) sean clasificados y consecutivamente multiplicadas por un factor para que finalmente sean caracterizadas en las distintas categorías de impacto evaluadas. Lo anterior para evaluar la importancia de los impactos ambientales generados por cada etapa que integra el sistema de estudio.

Los indicadores resultantes de la caracterización de las categorías de impacto reflejan las emisiones agregadas o los recursos utilizados para cada categoría de impacto. En general este proceso implica la asociación de datos de inventario con impactos ambientales específicos tratando de valorar dichos impactos. El nivel de detalle, la elección de impactos evaluados y las metodologías usadas dependen del objetivo y alcance del estudio.

La Evaluación de Impactos como parte de un ACV tiene como objetivo las siguientes actividades:

- ❖ Interpretar el inventario, analizando y evaluando los impactos producidos por todos los flujos de energía y materiales cuantificados en los distintos procesos del sistema.
- ❖ Identificar las oportunidades de mejora del sistema analizando y ayudar en su jerarquización.
- ❖ Caracterizar o comparar el sistema analizado y sus procesos unitarios en el tiempo.
- ❖ Realizar comparaciones relativas entre sistemas, basadas en los indicadores de categoría seleccionados.
- ❖ Indicar las variables ambientales para las que otras técnicas puedan aportar datos ambientales complementarios e información útil para los responsables de la toma de decisiones de una empresa.

La Evaluación de Impactos consta de tres elementos obligatorios; selección de categorías, clasificación y caracterización. Y cuenta con tres elementos opcionales; normalización, agrupación y valoración.

Elementos obligatorios

- Selección. Se seleccionan las categorías de impacto y los métodos de caracterización que se van a considerar en el estudio.
- Clasificación. Es la asignación de los datos del inventario a las diferentes categorías de impacto.

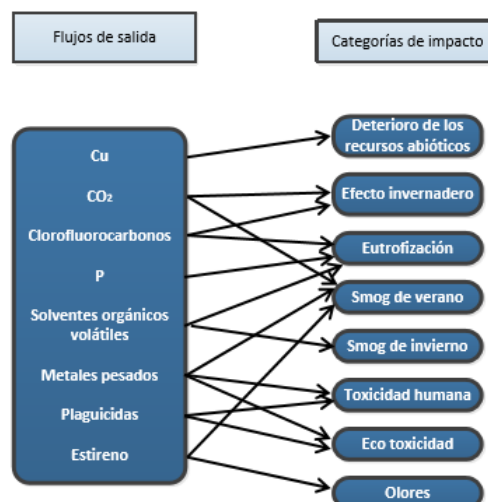


Figura 2.6: Clasificación de datos del inventario. **Fuente:** Adaptada de Aranda Usón et al., 2006.

- c) Como se ejemplifica en la Figura 2.6, el CO₂ se asigna las categorías de impacto de efecto invernadero y smog de verano al igual que los restantes compuestos se asigna a otras categorías de impacto.
- d) Caracterización. Se refiere al cálculo del indicador de impacto para cada una de las categorías de impacto seleccionadas, usando factores de caracterización, los cuales son estimados usando modelos de caracterización y representan la contribución relativa de una sustancia en una categoría de impacto.

Elementos opcionales

- a. Normalización. Es el cálculo de la magnitud del indicador de impacto, el cual es calculado por medio del uso de información de referencia, como las emisiones en un área determinada.
- b. Agrupación. Es el proceso de clasificar las categorías de impacto por grupos de impacto similar o por categorías en una jerarquía determinada, por ejemplo, alta, media o baja prioridad.
- c. Valoración. Consiste en establecer unos factores que otorgan una importancia relativa a las distintas categorías de impactos para después sumarlas y obtener resultados ponderados en forma de un único índice ambiental global del sistema.

2.4.4 Etapa 4: Interpretación de los resultados

La etapa 4 del ACV, se enfoca a la interpretación de todos los resultados obtenidos, cuantificando, verificando y evaluando la información resultante de las etapas precedentes, a fin de establecer las conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones en armonía con el alcance y el objetivo definidos con el fin de encontrar mejoras al proceso (Instituto Mexicano de Normalización y Certificación, 2008).

Dentro de esta fase de interpretación incluyen tres elementos fundamentales:

- A. Identificación de las variables significativas o procesos que conllevan un mayor impacto.
- B. Verificación de los resultados.
- C. Conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

3.1 Definición del objetivo y alcance

Para el desarrollo del ACV es necesario definir el objetivo y alcance de la investigación, así como la calidad de los datos empleados, siendo esta la primera etapa de la metodología utilizada.

3.1.1 Objetivos del estudio

Para realizar el ACV de la producción de botellas PET en la Empresa Militar Industrial Comandante Ernesto Che Guevara, que se encuentra en el municipio Manicaragua, Campana, Santa Clara se deben de plasmar los objetivos con los que vamos a trabajar en la investigación. Los cuales son:

1. Evaluar y cuantificar los impactos medioambientales existentes en la EMI, Comandante Ernesto Che Guevara
2. Proponer variantes de mejora de producciones más limpias para reducir dichos impactos ambientales a lo largo del proceso productivo.
3. Seleccionar dentro de las mejoras propuestas las más factibles técnico-económicas que pueda implantar la fábrica en su proceso productivo.

3.1.2 Alcance del estudio

Unidad Funcional: Como unidad funcional de nuestro sistema está la producción de 75600 botellas de PET.

Definición de los límites del sistema:

- **Límites geográficos:** El Análisis de Ciclo de Vida se limita a la producción que se genera en la fábrica de plástico ubicada en la Campana, municipio Manicaragua de Santa Clara
- **Límites temporales:** El estudio se centró en los meses de enero a diciembre del año 2018. Comenzando desde la producción de las preformas de PET, las botellas PET, las tapas PP y el consumo de energía de la fábrica.
- **Etapas excluidas del análisis:** Para este estudio, debido a la limitación de la información necesaria no se incluyen el transporte de los materiales o equipos ni el ruido emitido por la fábrica o desechos.

Calidad de los datos: Los datos del proceso utilizados en el análisis fueron obtenidos directamente de la administración de la Empresa Militar Industrial Comandante Ernesto Che Guevara quien colaboró con este proyecto facilitando los datos necesarios para el estudio.

3.2 Análisis de inventario

En esta etapa se realizó una búsqueda y recolección de datos e información existente de los procesos y operaciones para la obtención de las botellas PET producidas en la Fábrica de la Campana, identificándose las entradas y salidas y se realizan los balances de masa y energía necesarios.

3.2.1 Recopilación de datos

Para la recopilación de los datos se tienen en cuenta los consumos de materias primas y productos reportados por la fábrica de plástico en el año 2018. A continuación, se presentan las tareas llevadas a cabo:

3.2.1.1 Colectar y preparar la información básica

El proceso de obtención de botellas PET se lleva a cabo en las etapas descritas en el epígrafe 1.3.2. A continuación se describen los datos de entrada y salidas de los productos que intervienen en el proceso durante la fabricación de este en el año 2018. Los datos que aparecen a continuación son los que se obtienen en un día de trabajo.

Materias primas

- PET: 0.04 Kg para cada botella (13.44 kg/día)
- PP: 0.001 Kg para cada tapa (0.336 kg/día)

Proceso productivo

- Inyección
- Termo formado
- Soplado

Distribución y embalaje

- Botellas: 336
- Tapas: 336

Uso

- -Energía 78Kwh/día

Las botellas y tapas son moldeadas y producidas en la fábrica mediante una maquinaria que trabaja a potencia de 0.3 Kw/m³, el consumo de energía en el día es de 78 Kwh, la eficiencia de energía es de un 80 % y el volumen de cada botella es de 1 m³.

- Energía

Para la obtención del consumo de energía en un año de producción se calcula el consumo de energía por la formula siguiente:

$$\text{Consumo eléctrico} = \text{Días de produc.} * \text{Consumo diario} \quad (\text{Ec.1})$$

$$\text{Consumo eléctrico} = 225 \text{ días} * 78 \text{ Kwh/día} = 17550 \text{ Kwh}$$

- PET

Para la obtención del consumo de PET en el año utilizamos la ecuación siguiente:

$$\text{Consumo de PET} = \text{Días de produc.} * \text{Consumo diario de PET} \quad (\text{Ec.2})$$

$$\text{Consumo de PET} = 225 \text{ días} * 13.44 \text{ kg/día} = 3024 \text{ kg}$$

- PP

Para la obtención del PP utilizamos el mismo método que el PET solo que cambiamos de producto y así con los demás datos:

$$\text{Consumo del PP} = \text{Días de produc.} * \text{Consumo diario de PP} \quad (\text{Ec.3})$$

$$\text{Consumo del PP} = 225 \text{ días} * 0.336 \text{ kg/día} = 75.6 \text{ kg}$$

- Potencia

$$\text{Potencia Total} = \text{Días de produc.} * \text{Potencia diaria} \quad (\text{Ec.4})$$

$$\text{Potencia Total} = 225 \text{ días} * 0.3 \text{ Kw/m}^3\text{días} = 67.5 \text{ Kw/m}^3$$

- Volumen de las botellas

$$1 \text{ botella} - 1.5 \text{ L}$$

$$336 \text{ botellas} - 1 \text{ día}$$

$$\text{Volumen total} = \text{Días de produc.} * \text{Volumen de botellas diario} \quad (\text{Ec.5})$$

$$\text{Volumen total} = 225 \text{ días} * 336 \text{ botellas / día} = 75\,600 \text{ botellas}$$

- Y como dato auxiliar nos dan que la eficiencia energética en el año es de un 80 %

Luego de calculado estos valores obtenemos los siguientes resultados que se muestran en la tabla 3.1:

Tabla 3.1: Datos de inventario de la producción de botellas en un año (2018).

Variables	Resultados
Consumo de PET	3024 kg
Consumo de PP	75.6 kg
Consumo de electricidad	17550 Kwh
Potencia Total	67.5 Kw/m ³
Volumen Total	75 600 m ³
Eficiencia Energética total	80 %

Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Construcción de los diagramas de procesos

Con la información recogida de cada una de las etapas y procesos expuestos anteriormente se elaboró el inventario de ciclo de vida de la producción de botellas PET y tapas PP, en el mismo se recogieron todas las materias primas, el uso de energía, y las salidas o emisiones, empleándose los datos del año 2018, como podemos apreciar en la figura 3.1 a continuación.

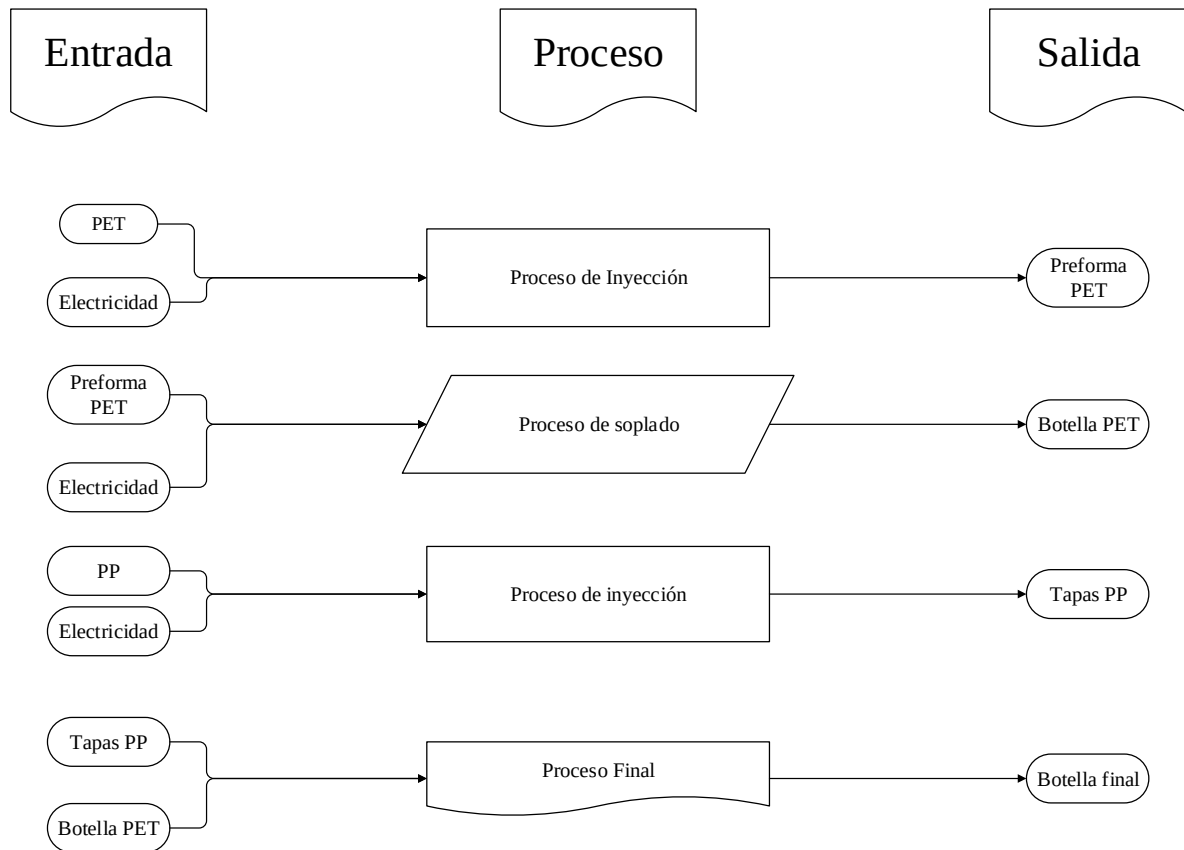


Figura 3.1: Diagrama de producción de botellas PET y tapas PP. **Fuente:** Elaboración Propia

3.2.4 Procesamiento de los datos:

Los datos obtenidos y organizados en el inventario serán correctamente procesados por el software Open LCA 1.8.0 especializado en este tipo de análisis, usando la base de dato Elcd 3.2 grendelta v 2.16, aplicando el método de evaluaciónCML (baseline), obtendremos un detallado análisis ambiental del proceso de producción de botellas PET en la Empresa Militar Industrial Comandante Ernesto Che Guevara y con estos resultados pasaremos a la siguiente etapa del ACV.

3.2.5 Método CML (baseline)

La metodología CML (baseline) es una adaptación de uno de los primeros trabajos en desarrollo de metodología para ACV (CML, 1992). En ella se propone una lista de categorías de impacto que se incluirán o no en los ACV. (Jiménez, 2013). En la tabla 3.2 se muestran estas categorías:

Tabla 3.2: Categorías de impacto a evaluar por el método CML (baseline)

Categoría	Abreviatura	Unidad de referencia
Acidificación potencial	AP	kg SO ₂ eq.
Cambio climático	GWP	kg CO ₂ eq.
Agotamiento de recursos abióticos - elemento, ultimas reservas	ADP elemento	kg antimonio eq.
Agotamiento de recursos abióticos - combustibles fósiles	ADP combustibles fósiles	MJ
Eutrofización – genérico	EP	kg PO ₄ --- eq.
Ecotoxicidad de agua dulce	FAETP	kg 1,4-diclorobenceno eq.
Toxicidad humana	HTP	kg 1,4-diclorobenceno eq.
Ecotoxicidad de agua marina	MAETP	kg 1,4-diclorobenceno eq.
Agotamiento de la capa de ozono	ODP	kg CFC-11 eq.
Oxidación fotoquímica	POCP	kg etileno eq.
Ecotoxicidad terrestre	TETP	kg 1,4-diclorobenceno eq.

Fuente: Software OpenLCA versión 1.8

3.3 Evaluación del impacto del ciclo de vida

Una vez analizado el inventario con el software es necesario normalizar los resultados obtenidos para facilitar la comparación llevándolos a una misma unidad de referencia.

Resultados para los puntos medios (CML (baseline)):

Para obtener los datos de normalización para cada categoría de impacto, obtenido del procesamiento de los datos. Utilizamos la ecuación obtenida de Berlan Rodríguez (2012):

Indicador normalizado = Indicador de caracterización / Factor de normalización

3.3.1 Perspectiva del método CML (baseline)

En la tabla 3.3 se muestran los datos de caracterización y normalización para cada categoría de impacto, obtenido del procesamiento de las entradas y salidas según la base de datos del software OpenLCA. Los resultados se ordenan de mayor a menor teniendo en cuenta su incidencia, los valores positivos representan los impactos ambientales perjudiciales del proceso, mientras que los valores negativos muestran aquellos impactos que son contrarrestados durante la producción.

Tabla 3.3: Valores resultantes de la ponderación de las categorías de impacto por el método CML (baseline)

Categoría de impacto	Unidad	Caracterización $I_i(a)$	Valores de normalización N_i	Unidad	Normalización $I_i(a)/N_i$
Ecotoxicidad de agua marina	kg 1,4-diclorobenceno eq.	8.44890×10^{11}	756	Ítems	1.11758×10^9
Agotamiento de recursos abióticos - combustibles fósiles	MJ	7.91120×10^{10}	733	Ítems	107929058.66
Cambio climático	kg CO ₂ eq.	6.44586×10^9	146	Ítems	4.41497×10^7
Toxicidad humana	kg 1,4-diclorobenceno eq.	1.24100×10^9	835	Ítems	1474251.497
Acidificación potencial	kg SO ₂ eq.	3.96105×10^7	264	Ítems	150039.772
Ecotoxicidad	kg 1,4-	1.90301×10^7	155	Ítems	122774.839

d terrestre	diclorobence no eq.				
Ecotoxicidad de agua dulce	kg 1,4-diclorobence no eq.	9.49734×10^6	235	Item's	40414.213
Eutrofización – genérico	kg PO ₄ --- eq.	4.25203×10^6	93	Item's	45720.753
Agotamiento de recursos abióticos - elemento, ultimas reservas	kg antimonio eq.	2.36955×10^4	226	Item's	104.847
Agotamiento de la capa de ozono	kg CFC-11 eq.	424.44204	8	Item's	53.055
Oxidación fotoquímica	kg etileno eq.	-2.13922×10^6	202	Item's	-10590.198

Fuente: Elaboración propia

En esta tabla se aprecia que el proceso influye negativamente sobre la ecotoxicidad de agua marina, el agotamiento de recursos abióticos, el cambio climático, la toxicidad humana, la acidificación potencial, la ecotoxicidad terrestre, la ecotoxicidad de agua dulce, la eutrofización – genérico, el agotamiento de recursos abióticos - elemento, ultimas reservas y el agotamiento de la capa de ozono, que contrarresta solamente la categoría oxidación fotoquímica.

Para poder explicar este resultado se construyó la Figura 3.2, en ella se observa donde se localizan las mayores incidencias negativas de nuestro proceso, en consonancia con las categorías de impacto ambiental consideradas. En dicha figura se muestran los porcentajes obtenidos después de realizada la normalización para cada categoría de impacto.

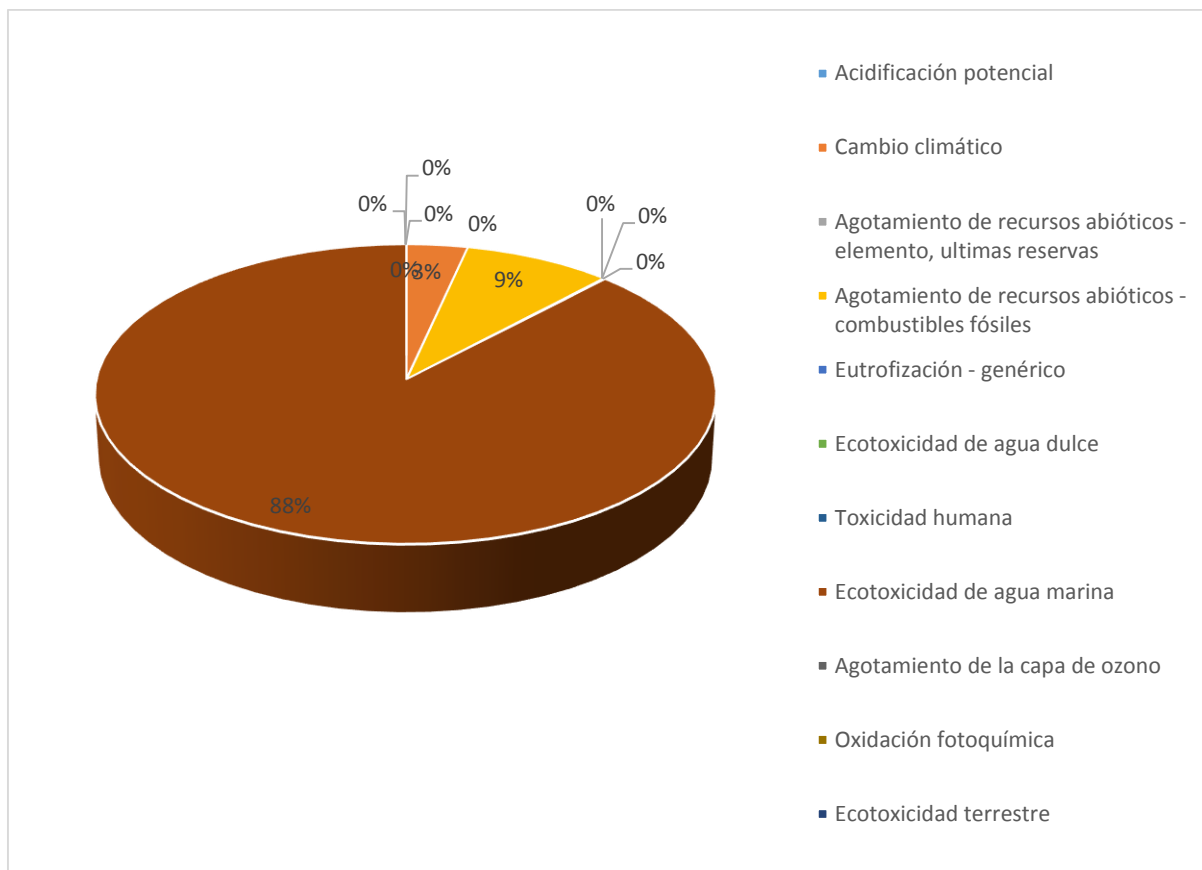


Figura 3.2: Grafico de representación de las categorías de impacto en la EMI **Fuente:** Elaboración propia a partir del Software Open LCA.

Dentro de las categorías de impacto más afectadas por este proceso, está el cambio climático, si bien solo representa un 3 % de los impactos totales generados, cabe destacar que las consecuencias producidas por el cambio climático son numerosas. En el año 2001 el IPCC (Tercer Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático) expuso a través de observaciones de sistemas físicos y biológicos que se estaban produciendo cambios en el clima, concretamente el aumento de la temperatura. Este factor tiene múltiples consecuencias negativas en los sistemas físicos, biológicos y humanos, entre otros efectos. En definitiva, lo que indicaban es que las pruebas sobre la existencia del cambio climático se comenzaban a acumular, así como sus efectos derivados. De forma general, se ha producido a lo largo del siglo XX un aumento de la temperatura de 0,6°C. Esto, según los investigadores, ha hecho que los océanos, cada vez más calientes, se expandiesen, aumentando el nivel del mar de 10 a 12 centímetros. El cambio climático también aumenta la aparición de fenómenos meteorológicos más violentos, incendios, sequías, muertes de especies animales y vegetales, así como la destrucción de los medios de subsistencia y de los recursos

económicos. Este impacto pudiera estar provocado por las emisiones a la atmósfera de gases de efecto invernadero derivadas de actividades humanas, como la producción de electricidad, provocando variaciones en el clima que de manera natural no se producirían.

El agotamiento de recursos abióticos- combustibles fósiles fue la segunda categoría de impacto más afectada por nuestro proceso, con un 9 %, de acuerdo con la información aportada por el software. Los recursos abióticos son recursos naturales considerados no vivos, como minerales de hierro, el viento o el petróleo. La manera de como estimar este impacto ambiental es todavía muy debatida y en consecuencia hay una gran variedad de métodos para caracterizar las contribuciones a esta categoría. En gran medida, esta variedad refleja las diferentes definiciones posibles del problema: puede hacer referencia únicamente al agotamiento de recursos naturales en función de reservas físicas o reservas económicas, o incluir en la ecuación las tasas de extracción de recursos. Según la definición adoptada las áreas de protección pueden incluir Recursos naturales, Entornos Naturales o Salud humana. El debate en torno a los factores de caracterización para este impacto ambiental aún sigue vigente. En este caso se puede apreciar claramente por la categoría de impacto evaluada por el software OpenLCA, que el problema está dado por el agotamiento de combustibles fósiles, una fuente de energía no renovable, lo que es completamente entendible y además está en concordancia con la bibliografía consultada, ya que se necesita utilizar una gran cantidad de energía eléctrica, que proviene de la quema de combustibles fósiles, para la producción de las botellas PET mediante los procesos de extrusión descritos con anterioridad.

Según el software OpenLCA con el método Elcd 3.2 la de mayor impacto es la ecotoxicidad de agua marina con el 88 % de los daños. La misma está asociada a los impactos tóxicos que afectan a las aguas marinas, que son nocivos para distintas especies y que cambian la estructura y función del ecosistema. Es el resultado de una serie de diferentes mecanismos toxicológicos provocados por la liberación de sustancias con un efecto directo sobre la salud del ecosistema.

El método base para la evaluación de la ecotoxicidad (en sus diferentes compartimentos) está basado en el efecto de las sustancias a tiempo indefinido (∞) a nivel global. Algunas alternativas se basan en el efecto a 20, 100 ó 500 años a nivel global, o a tiempo indefinido a nivel continental.

- a. Ecotoxicidad acuática de agua dulce (Freshwateraquatic ecotoxicity)
- b. Ecotoxicidad acuática marina (Marine aquatic ecotoxicity)
- c. Ecotoxicidad terrestre (Terrestrial ecotoxicity)
- d. Ecotoxicidad del sedimento marino (Marine sediment ecotoxicity)
- e. Ecotoxicidad del sedimento en aguas dulces (Freshwater sediment ecotoxicity)

La siguiente tabla muestra los factores de caracterización de ciertas sustancias sobre la ecotoxicidad de aguas marinas.

Tabla 3.4: Factores de caracterización de algunas sustancias sobre la ecotoxicidad acuática marina.

Sustancia	Compartimento	Factor de caracterización (kg 1,4-DB _{eq} kg ⁻¹)
Benzeno, 1,4-dicloro-	Agua	1
Fenol	Agua	4.66
Glifosato	Aire	16.8
Antraceno	Suelo	24.6
Glifosato	Agua	33.5
Berilio	Agua	3.43E8

Fuente: Guinée y Gorrée, (2002). Definiciones de algunos impactos ambientales.

Este impacto puede deberse a las complejas reacciones que ocurren en los sitios de disposición final, donde se liberan trazas de compuestos tóxicos persistentes a partir de la descomposición de la mezcla de los residuos sólidos, que en el caso de los envases PET se presume que es un factor que contribuye a la ecotoxicidad en la corriente de los residuos.

Luego de obtenido estos resultados procedimos analizar de dónde provenía este impacto según las limitaciones que marcamos en la investigación. Los resultados obtenidos por el software nos muestran que:

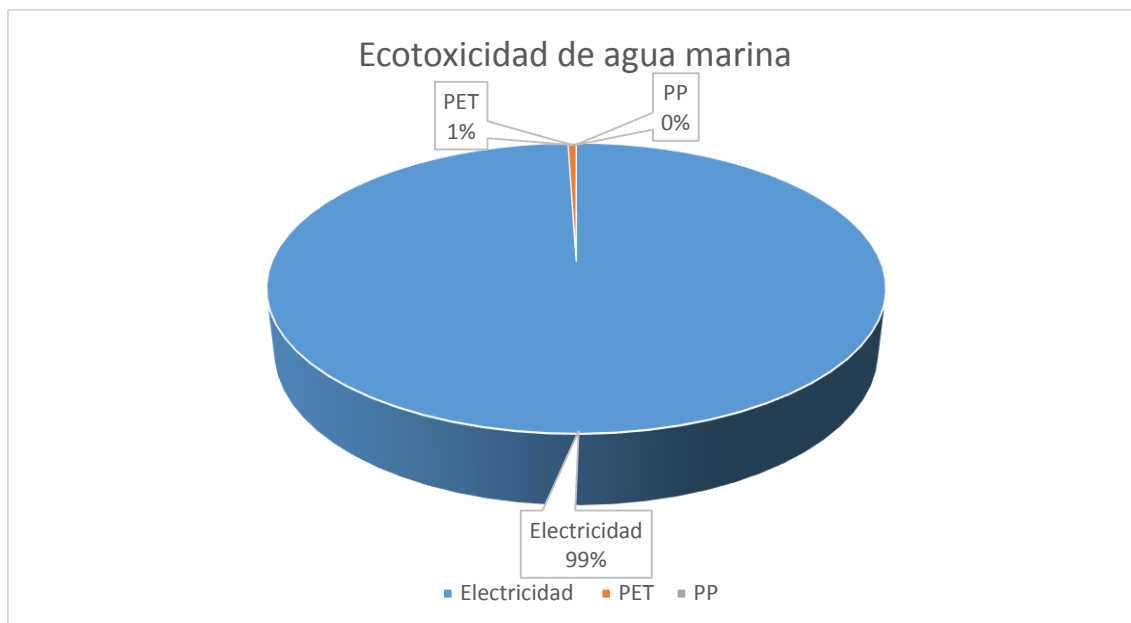


Figura 3.3:Proceso de contribución de impacto de las materias primas y auxiliares la ecotoxicidad marina.**Fuente:** Elaboración propia a partir del Software OpenLCA.

Como nos muestra el gráfico anterior la electricidad es la que influye con un 99 % en el impacto de la ecotoxicidad de agua marina. Esto puede deberse a que durante el proceso de producción de electricidad en una termoeléctrica ocurren emisiones al aire de dióxido de carbono (CO_2), del cual aproximadamente el 30 % es absorbido por el océano.

También analizamos las emisiones que ocurren dentro de esta categoría de impacto y obtuvimos los resultados que aparecen en la figura siguiente.

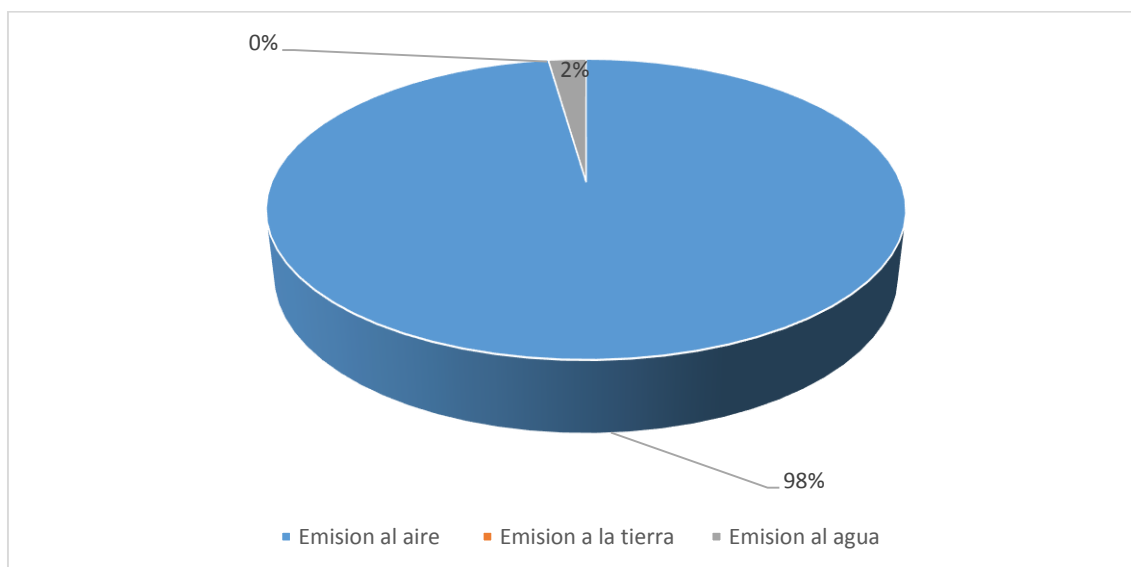


Figura 3.4:Proceso de contribución de impacto de las emisiones producidas a la categoría de ecotoxicidad de agua marina. **Fuente:** Elaboración propia a partir del Software OpenLCA.

Según el gráfico que se ilustra anteriormente en la figura 3.4 podemos apreciar que entre las emisiones que ocurren en la ecotoxicidad marina, la emisión al aire (98 %) es la que obtiene el mayor porcentaje por lo tanto es la que ocasiona mayor daño al medio ambiente. Esto está en concordancia con la figura 3.3, ya que dentro de los principales impactos producidos por los procesos de generación de electricidad están las emisiones al aire, de considerables cantidades de gases nocivos para el medio ambiente.

Para poder analizar más al detalle este impacto, debemos de saber cuál de todas las sustancias químicas que nos proporciona el software OpenLCA con el método CML (baseline) empleado para realizar el ACV de la producción de botellas PET es la que influye más. Estos resultados se muestran en la figura 3.5, en la que se representa las sustancias que influyen en la emisión al aire.

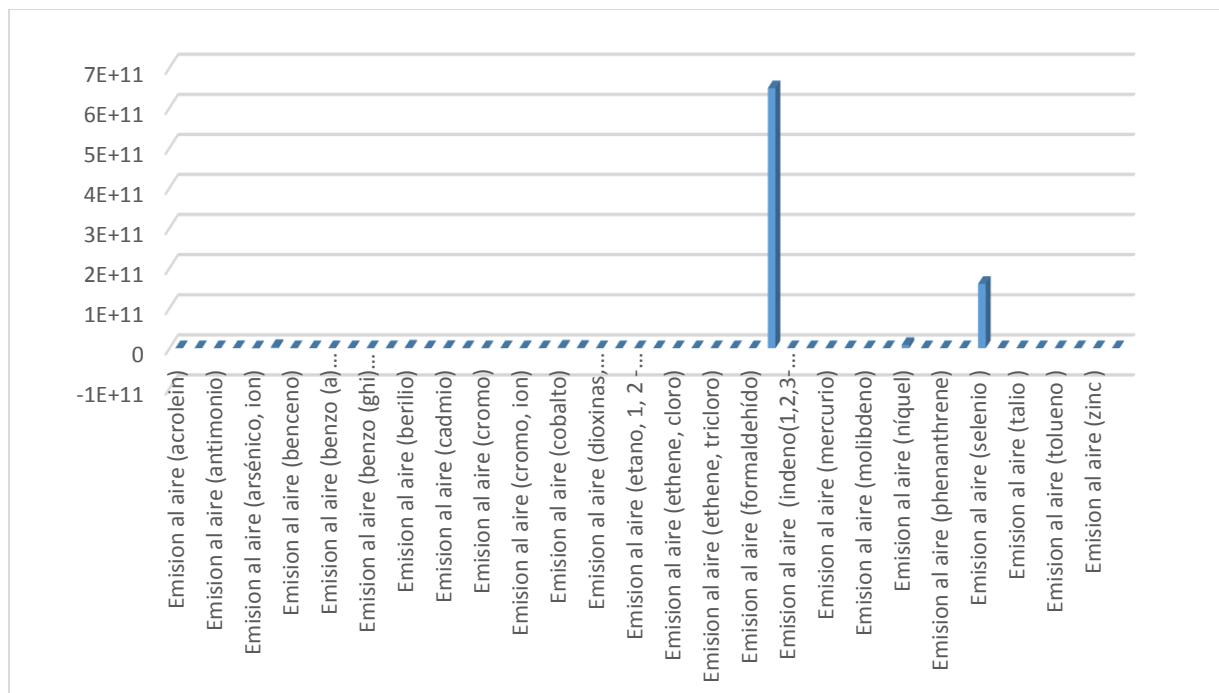


Figura 3.5: Sustancias que influyen en la emisión al aire según el software Open LCA. **Fuente:** Elaboración propia a partir del Software OpenLCA.

Según los datos obtenidos y la ilustración del grafico en la figura 3.4 podemos ver que las sustancias que influyen con mayor valor en la emisión al aire de la ecotoxicidad marina son el fluoruro de hidrogeno ($6.48609E+11$ kg) y el selenio ($1.60357E+11$ kg). Lo que nos causa un cierto grado de incertidumbre, ya que, de acuerdo con la bibliografía consultada y la experiencia de la industria, estos resultados no son los esperados, ya que la emisión gaseosa fundamental de los procesos de generación

electricidad mediante la combustión de combustibles fósiles es el CO_2 , además de acuerdo con el diagrama del proceso y las tecnologías de extrusión empleadas en esta empresa no se genera ninguna emisión gaseosa. Por otra parte el fluoruro de hidrógeno se emplea fundamentalmente para producir compuestos fluorados que se usan como fluidos refrigerantes o polímeros, para el tratamiento superficial del acero inoxidable y el vidrio, para calibrar la monitorización de emisiones ambientales entre otros; por otra parte el selenio es un subproducto de la fabricación industrial del azufre y del ácido sulfúrico y más de la mitad de la producción de este es utilizada en manufacturar componentes fotoeléctricos, vidrio y pigmentos, por lo que no queda claro de dónde pueden surgir estas sustancias en el proceso productivo de la EMI.

Por lo que debemos señalar que los resultados obtenidos por el software OpenLCA pueden tener un grado considerable de incertidumbre, debido a que las bases de datos utilizadas son de origen europeo, y por ende existen considerables diferencias entre las normativas ambientales de esa región del planeta y nuestro país.

En general, todo uso de energía conlleva diferentes tipos de contaminación y alteración del medio ambiente. La polución atmosférica parece ser actualmente el principal aspecto negativo del uso de energía en el mundo y es provocada por la combustión tanto de combustible de origen fósil, leña u otros. Los efectos de este proceso pueden ser locales, regionales o globales. Los efectos locales corresponden principalmente a aquellos provocados por emisión de partículas, óxidos nitrosos y monóxido de carbono, los que conforman el denominado smog, proveniente de vehículos y chimeneas industriales y residenciales; los principales efectos regionales se refieren a la lluvia ácida, provocada principalmente por la emisión de dióxido de azufre, mientras que los efectos globales corresponden al efecto invernadero provocado por las emisiones de metano y dióxido de carbono. "La industria química necesita gran cantidad de energía que procede principalmente de la combustión de productos petrolíferos, del gas natural, del carbón o de reactores nucleares. Como consecuencia de estas operaciones los mismos tipos de contaminantes que en las centrales térmicas convencionales: partículas, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos". (curso de química general Univ. de Santiago de Chile)

El aumento de la cantidad de dióxido de carbono en los océanos provoca reacciones que cambian la composición química de éstos y pone en peligro a organismos marinos capaces de crear caparzones y esqueletos de carbonato cálcico como los corales, las

almejas y los cangrejos. El exceso de dióxido de carbono en los océanos absorbe los elementos necesarios para que estos organismos puedan crear sus conchas y esqueletos. Por eso, les resulta cada vez más difícil fortalecer su estructura y construir una nueva.

Por toda esta información podemos afirmar que esos resultados deducidos por el programa no son del todo ciertos y esto puede estar dado por la utilización de la base de datos (Elcd 3.2) o el método de evaluación (CML (baseline) y que el origen de estas es europeo.

3.4 Propuesta de mejoras

Sobre la base de los resultados obtenidos podemos afirmar que en el proceso de producción de botellas PET de la Empresa Militar Industrial Comandante Ernesto Che Guevara no ocurre ningún tipo de contaminación según los límites de nuestra investigación. Ya que las categorías de impacto obtenidas por el software OpenLCA, tienen origen fuera de los límites espacio temporales definidas en nuestro ACV.

Sin embargo, se harán algunas propuestas de medidas que pudieran implementarse en la EMI Comandante Ernesto Che Guevara para disminuir el consumo de energía eléctrica en el proceso de fabricación de botellas PET. De acuerdo con la bibliografía examinada sobre el ahorro de energía en la industria del plástico, se proponen para la empresa de estudio, por similitud de proceso las siguientes medidas desglosadas por etapas:

Moldeado por inyección

El proceso de inyección es uno de los principales procesos de fabricación de piezas plásticas. En función de cómo transforman la energía eléctrica en movimiento, los equipos de inyección se pueden clasificar en hidráulicos, híbridos eléctrico-hidráulico o bien completamente eléctricos, siendo estos últimos los más eficientes. También se gasta energía en la generación de calor para fundir el plástico, refrigeración, compresores, transporte neumático y extracción de humos. Las mejoras de eficiencia energética consisten en:

- Aislamiento térmico de los husillos generadores de calor: ahorro del 20-40%.
- Instalación de variadores de velocidad (VSD) en las bombas hidráulicas: 25% de ahorro.
- Mejora de la refrigeración del molde
- Reducción del consumo de los refrigeradores

Soplado

El soplado se usa para la fabricación de objetos vacíos. La extrusión y la inyección pueden formar parte del proceso de soplado y por lo tanto todas las medidas de eficiencia mencionadas se pueden aplicar aquí. Sin embargo, los procesos de soplado requieren de un aporte de aire comprimido mucho mayor que los otros dos, por lo que el uso de equipos que permiten el reaprovechamiento de aire comprimido (ej. Air Wizard) conduce a una mayor eficiencia energética.

Roto moldeado

En un proceso de roto moldeado la pieza se fabrica dentro de un molde que gira sobre sí mismo, distribuyendo el plástico sobre las paredes de este. El principal consumo energético de este tipo de procesos es el derivado del calentamiento y enfriamiento del molde. Muchos equipos usan aire como componente conductor de temperatura, pero esta técnica es muy ineficiente energéticamente. Las opciones de mejora son:

- Utilización de aceite, microondas u otros métodos en vez de aire para el calentamiento
- Aprovechamiento de la temperatura exterior para la reducción del consumo de refrigeradores
- Control del sistema de calentamiento

Termoconformado

El proceso de termoconformado consiste dar forma a una lámina o film precalentado a través de su adhesión a un molde mediante creación de vacío. Las mejoras de eficiencia específicas de este tipo de procesos tienen que ver con el sistema de calentamiento de la máquina, por ejemplo, se puede calentar la lámina a través de infrarrojos o gas. También aplican muchas de las mejoras de eficiencia energética ya mencionadas

Equipos auxiliares

Los equipos auxiliares a la producción conllevan otras oportunidades de reducción del consumo:

- Los sistemas de refrigeración se pueden hacer más eficientes mediante el aprovechamiento de la temperatura exterior para una parte de la refrigeración (free cooling). Se puede reducir un 21% del gasto energético.
- El transporte neumático se puede hacer más eficiente a través de un sistema de control de este con variadores de velocidad. La reducción llega al 30%.
- Los sistemas de trituración se pueden controlar también con variadores, llevando a ahorros del 30%.
- Mejoras de eficiencia energética en otros equipamientos: iluminación (potenciales de ahorro del 80%) climatización (30%) y extracción de humos (30%)

De promedio, una empresa de plásticos puede ahorrar entre un 20 y un 30% de su consumo mejorando eficiencia energética. Las inversiones en mejoras están subvencionadas por las administraciones autonómicas y estatales. Esto resulta en una reducción del tiempo de amortización.

3.4.1 Tecnologías de avanzada enfocada a mejorar el desempeño energético de la producción de plástico.

Otras medidas que pueden ser útiles para el ahorro energético en la EMI las podemos encontrar en un serie de artículos dedicados a la jornada “Soluciones disruptivas de gestión energética para la industria del plástico”(Salvador,2016) organizada por AVEP y AVAENSEN donde destacó la ponencia de Greendök, relacionada con las soluciones más innovadoras para conseguir elevadas rentabilidades mediante el ahorro energético en las industrias de este sector.

Si tenemos consumo de calor la técnica más rentable es la **microcogeneración**. Consiste en sustituir las tradicionales calderas por un motor de combustión interna que además de producir calor al igual que lo haría la caldera genera también electricidad que podemos utilizar para nuestro consumo reduciendo así la factura de la compañía suministradora.

El motor puede funcionar a demanda térmica o eléctrica. En el primer caso tanto la producción de calor como de electricidad se ajustan a la curva de demanda térmica apareciendo un desajuste entre la demanda y la producción eléctrica, mientras que en el segundo caso sucede al revés. En las industrias del plástico por lo general la curva de

demanda eléctrica está muy por encima de la térmica por lo cual lo más recomendable suele ser que el motor trabaje a demanda térmica.

En cualquier caso, siempre podemos recurrir al almacenamiento para solventar los problemas de ajuste entre ambas curvas. En general lo más rentable es que los motores funcionen en continuo a plena carga sin tener que disipar nada de energía sobrante.

La microgeneración se integra muy bien con otras energías renovables, especialmente la fotovoltaica, pudiendo llegar a conseguir reducciones muy importantes en las necesidades de potencia eléctrica contratada.

Los periodos de retorno habituales de estas instalaciones están por término medio en los 4 años haciendo de ellas una de las opciones más interesantes desde el punto de vista de la rentabilidad. La vida útil de los equipos es muy prolongada ya que al contrario que los motores de automoción estos motores trabajan en condiciones muy estables sufriendo muy poco deterioro y desgaste, siendo habitual encontrar unidades con 20 años en servicio o más. El requisito fundamental en cualquier caso es hacer un adecuado mantenimiento siguiendo las instrucciones del fabricante.

La rentabilidad está muy ligada a las prestaciones de los motores. En este sentido **destacan los populares grupos XRGI** que son líderes en el competitivo mercado alemán, mucho más maduro que el español en la aplicación de estas tecnologías.

CONCLUSIONES

1. Existen suficiente fundamento científico acerca del Análisis del Ciclo de Vida en el sector plástico que permita realizar esta investigación.
2. El proceso de producción de Botellas PET en la Empresa Militar Industrial Comandante Ernesto Che Guevara no provoca daños ambientales. Esta afirmación está avalada por el análisis realizado según los límites espaciotemporales establecidos para la investigación.
3. La categoría de mayor impacto fue la ecotoxicidad de agua marina, producida por el consumo de electricidad y la emisión de sustancias tóxicas al aire, este resultado fue identificado por el software OpenLCA y el método CML (baseline).
4. Las incertidumbres en la base de datos usada provocan incoherencias en el análisis del Ciclo de Vida de la producción de Botellas PET en la Empresa Militar Industrial Comandante Ernesto Che Guevara.

RECOMENDACIONES

1. Continuar con esta investigación en otros programas de Análisis de Ciclo de Vida o emplear otras bases de datos adecuadas a nuestra región geográfica, para obtener resultados con menor grado de incertidumbre.
2. Discutir este trabajo en la Empresa Militar Industrial Comandante Ernesto Che Guevara, particularmente en la fábrica de plástico, para mejorar el consumo de electricidad.
3. Realizar un estudio de ACV incluyendo otras entradas al proceso que no pudieron ser estudiados en la presente investigación por carencia de información, como el ruido y el transporte de las materias primas.

BIBLIOGRAFIA

Claridge, M. K. (2017) *Residuos plásticos y su impacto ambiental*. Berlín, Alemania:

Deutsche Welle (DW). Recuperado de

<https://www.google.com/url?q=https://googleweblight.com/i%3Fu%3Dhttps://m.dw.com/downloads/42980566/180306-dw-global-ideas-cuaderno-1-download.pdf%26grqid%3D2N2jtDWq%26s%3D1%26hl%3Des-CU%26f%3D1&sa=U&ved=2ahUKEwi72oez8-DnAhXDm-AKHcnTDYwQFjAAegQIARAB&usg=AOvVaw128MR14V8KewNrz1TNhtHA>

Morillas, A. V, Villavicencio, M. B; Villavicencio, R. M. E; Pérez, M. (2018) *El origen*

de los plásticos y su impacto en el ambiente. Recuperado de

<https://www.google.com/url?q=https://googleweblight.com/i%3Fu%3Dhttps://anipac.com/wp-content/uploads/2018/09/origendelosplasticos.pdf%26grqid%3D2N2jtDWq%26s%3D1%26hl%3Des-CU%26f%3D1&sa=U&ved=2ahUKEwi72oez8-DnAhXDm-AKHcnTDYwQFjAEegQICRAB&usg=AOvVaw2frlhrEYDewSS5Y17VbgXC>

Léon, A. D. (2005). Impacto ambiental de la apertura de una fábrica de plásticos en la ciudad de Morelia, Michoacán. (*Economía y Sociedad*). 10(15), 121-144.

Recuperado de

<https://www.google.com/url?q=https://googleweblight.com/i%3Fu%3Dhttps://www.redalyc.org/pdf/510/51001506.pdf%26grqid%3D2N2jtDWq%26s%3D1%26hl%3Des-CU%26f%3D1&sa=U&ved=2ahUKEwi72oez8-DnAhXDm-AKHcnTDYwQFjAFegQIBBAB&usg=AOvVaw1SRh3sbZI30FCb0Rpc314y>

Serrato, J. G. G. (2016) *Diagnostico del impactodel plástico – botella sobre el medio*

ambiente: un estado del arte. Recuperado de

<https://www.google.com/url?q=https://googleweblight.com/i%3Fu%3Dhttps://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/10047/Gomez2016.pdf%3Fsequence%253D1%26grqid%3D2N2jtDWq%26s%3D1%26hl%3Des->

[CU%26f%3D1&sa=U&ved=2ahUKEwi72oez8-DnAhXDm-AKHcnTDYwQFjAIegQIAxAB&usg=AOvVaw0SR77kTV-4S5prB9N2tae6](https://www.google.com/url?q=https://googleweblight.com/i%3Fu%3Dhttps://www.voceselfenix.com/sites/default/files/pdf/12_6.pdf%26grqid%3D-Wpfx6uq%26s%3D1%26hl%3Des-CU%26f%3D1&sa=U&ved=2ahUKEwi72oez8-DnAhXDm-AKHcnTDYwQFjAIegQIAxAB&usg=AOvVaw0SR77kTV-4S5prB9N2tae6)

Sánchez, O. E. (s.f) *Industria Transformadora plástica características y situación actual. Industria Transformadora plástica.* Recuperado de https://www.google.com/url?q=https://googleweblight.com/i%3Fu%3Dhttps://www.voceselfenix.com/sites/default/files/pdf/12_6.pdf%26grqid%3D-Wpfx6uq%26s%3D1%26hl%3Des-CU%26f%3D1&sa=U&ved=2ahUKEwj60_X-7uDnAhWnm-AKHe89C9UQFjAEegQIBBAB&usg=AOvVaw3Q7M8bk4nrpDQJcIYwx7S3

Pérez, J. P. G. (2014). La industria del plástico en México y el mundo.

(Comercio Exterior). 64 (5). 6 – 9. Recuperado de https://www.google.com/url?q=http://googleweblight.com/i%3Fu%3Dhttp://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/761/3/la_industria_del_plastico.pdf%26grqid%3D-Wpfx6uq%26s%3D1%26hl%3Des-CU%26f%3D1&sa=U&ved=2ahUKEwj60_X-7uDnAhWnm-AKHe89C9UQFjAFegQIBRAB&usg=AOvVaw3Q7M8bk4nrpDQJcIYwx7S3

Alvares, A. (2016) *Ciclo de vida envases y embalaje plásticos.* Recuperado de <https://www.google.com/url?q=https://googleweblight.com/i%3Fu%3Dhttps://www.aspla.com/contenidoDinamico/LibreriaFicheros/62EB76BE-D2B0-1049-28A0-E81D6255BF5E.pdf%26grqid%3DtckMhWGW%26s%3D1%26hl%3Des-CU%26f%3D1&sa=U&ved=2ahUKEwiFm7ft7eDnAhUNTt8KHevuD08QFjAAegQIBRAB&usg=AOvVaw1K0HiaVm1l4NpI6bf9xH2h>

Ocampo, U. E. J. (2013) *Análisis de Ciclo de Vida de las botellas de PET que se recolectan como residuo en el Municipio de Ecatepec de Morelos.* Recuperado de <https://www.google.com/url?q=http://googleweblight.com/i%3Fu%3Dhttp://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/6157/tesis.pdf%3Fsequence%253D1%26grqid%3DtckMhWGW%26s%3D1%26hl%3Des-CU%26f%3D1&sa=U&ved=2ahUKEwiFm7ft7eDnAhUNTt8KHevuD08QFjA>

DegQICRAB&usg=AOvVaw2PS5mo-ybKt1TA2n3PdQdS

Garraín, D; Vidal, R; Franc, V. (2008) Análisis de Ciclo de Vida del reciclado de polietileno de alta densidad. AIMPLAS, Instituto Tecnológico del Plástico (Valencia). (*Residuos*) 104. 58 – 63. Recuperado de <https://www.google.com/url?q=https://googleweblight.com/i%3Fu%3Dhttps://core.ac.uk/download/pdf/61397553.pdf%26grqid%3DtckMhWGW%26s%3D1%26hl%3Des-CU%26f%3D1&sa=U&ved=2ahUKEwiFm7ft7eDnAhUNTt8KHevuD08QFjANegQIAxAB&usg=AOvVaw2L0XUouqg0RdPfWgTIVjew>

Ortegón, D. M. P. (2018) *Implementación del sistema de gestión ambiental para la Empresa Todo Plásticos Bogota S.A.S. Con base en la norma NTC-ISO 14001:2015*. Recuperado de https://www.google.com/url?q=http://googleweblight.com/i%3Fu%3Dhttp://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6873/1/3132902-2018-2-II.pdf%26grqid%3DTwjPg3X4%26s%3D1%26hl%3Des-CU%26f%3D1&sa=U&ved=2ahUKEwjZr7WR7ODnAhVMnOAKHbwIAP4QFjAAegQIARAB&usg=AOvVaw33Qr-MBPuAWLy_2l2ZO8bK

Solórzano, M. V; Paz, R. (s.f) *Elaboración de un Manual de Sistema de Gestión Ambiental para una empresa de plásticos*. Recuperado de <https://www.google.com/url?q=https://googleweblight.com/i%3Fu%3Dhttps://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/14818/1/Elaboraci%2525C3%2525B3n%252520de%252520un%252520Manual%252520de%252520Sistema%252520de%252520Gesti%2525C3%2525B3n%252520Ambiental%252520para%252520una%252520empresa%252520de%252520plasticos.pdf%26grqid%3DTwjPg3X4%26s%3D1%26hl%3Des-CU%26f%3D1&sa=U&ved=2ahUKEwjZr7WR7ODnAhVMnOAKHbwIAP4QFjABegQIChAB&usg=AOvVaAOvVaw1omy5BBT7VQsJW9Kp-OO3Z>

Palma, E. A. Z. (2013) *Análisis del impacto económico ambiental en la industria plástica del Ecuador: Diseño de una planta reprocesadora de residuos plásticos PET que impulse el consumo local*. Recuperado de <https://www.google.com/url?q=https://googleweblight.com/i%3Fu%3Dhttps://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5321/1/UPS-GT000454.pdf%26grqid%3DTwjPg3X4%26s%3D1%26hl%3Des-CU%26f%3D1&sa=U&ved=2ahUKEwjZr7WR7ODnAhVMnOAKHbwIAp4QFjAFegQIBxAB&usg=AOvVaw36bE0vrQ-DvKUIZKkipzuL>

Cruz, M. A. D. (2015) *Implementación de un Sistema de Gestión Ambiental para la Empresa “Comercializadora Y Distribuidora Dizamar S.A.S”*. Recuperado de https://www.google.com/url?q=http://googleweblight.com/i%3Fu%3Dhttp://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1630/1/Implementaci%2525C3%2525B3n%252520_de%252520un%252520Sistema%252520de%252520_Gesti%2525C3%2525B3n%252520Ambiental%252520_para%252520la%252520Empresa.pdf%26grqid%3DTwjPg3X4%26s%3D1%26hl%3Des-CU%26f%3D1&sa=U&ved=2ahUKEwjZr7WR7ODnAhVMnOAKHbwIAp4QFjAJegQIAxAB&usg=AOvVaw0UgmUJYbE3E9IHe3qG7HYS8-r2s

Aguirre, G; Felipe, L; Gómez, O; Castro, A. (2006) Indicadores de gestión ambiental de la industria manufacturera en el corredor vial Cali - Yumbo. La implementación de una red virtual de información ambiental, que exprese el movimiento de materiales, sustancias, y el consumo de materias primas y energía en el área metropolitana de Cali. (*Entramado*), vol. 2, (1), pp. 6-37
https://www.google.com/url?q=https://googleweblight.com/i%3Fu%3Dhttps://www.redalyc.org/pdf/2654/265420388002.pdf%26grqid%3DTwjPg3X4%26s%3D1%26hl%3Des-CU%26f%3D1&sa=U&ved=2ahUKEwjZr7WR7ODnAhVMnOAKHbwIAp4QFjAJegQIBBAB&usg=AOvVaw20KVU6axaq_qG7HYS8-r2s

Acuña, N., Figueroa, L., & Wilches, M. J. (2017). Influencia de los Sistemas de Gestión Ambiental ISO 14001 en las organizaciones: caso estudio empresas manufactureras de Barranquilla. (*Revista Chilena de Ingeniería*), 25 (1), 143-

153. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ingeniare/v25n1/0718-3305-ingeniare-25-01-00143.pdf>

Aranda, A., Zabalza, I., Martínez, A., Valero, A., & Scarpellini, S. (2006). *El análisis del ciclo de vida, como herramienta de gestión empresarial*. Retrieved from <https://books.google.com.cu/books?id=QHUCoDKAaQsC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Clemente, G., Sanjuán, N., & Sanjián, J. L. (2005). *Análisis de Ciclo de Vida: Aspectos Metodológicos y Casos Prácticos*. Valencia, España. Editorial: UPD.

Chacón, J. (2008). Historia ampliada y comentada del análisis de ciclo de vida (ACV), con una bibliografía selecta. (*Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería*), 72(4), 3770.
http://www.escuelaing.edu.co/editorial/revistas/escuela/3_historia_ampliada_comentada_analisis_ciclo_vida.pdf

Díaz, M. (2009). *Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de la producción de alcohol: ejemplo de caso ALFICSA*. (Tesis de Grado), Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.

Domínguez, E. R., & González, A. (2008). *Modelación avanzada de Análisis de Ciclo de Vida*. from www.internal-pdf://INTROACV_DIA1_PEMEX083176963072/INTROACV_DIA1_PEMEX08

Haya, E. (2016). *Análisis de Ciclo de Vida*. Paper presented at the Máster en Ingeniería y Gestión Medioambiental

Icontec. (2004). *NTC-ISO 14001. ``Sistemas de Gestión Ambiental. Requisitos con Orientación para su Uso``*. Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework. Switzerland.

López, A. A., Mayorga, M. P., & López, A. (2017). *Análisis del uso de las herramientas*

de Gestión Ambiental en las Empresas Comerciales del Cantón Morona.
(*Killkana Sociales*), 1(8), 45-52.

Mendoza, H. H. y Lugo, M. J. R. (2009) Rol biológico del selenio en el humano.
(*Revista Química Viva*), 2 (8). 64 – 79

López, D. S. C. y Correcha, E. D. F. (2017) *Diseño de contenido teórico en análisis de ciclo de vida de plásticos para el desarrollo de una plataforma tecnológica ambiental.*

Pozo, M. y Carretero, M. I. (s.f.) *Recursos minerales y salud*. Recuperado de
<https://www.raco.cat/index.php/ect/article/viewFile/164749/216754>

Garrido, F. J. L. B. y Bellido, L. L. (2013) Selenio y salud; valores de referencia y situación actual de la población española. *Nutrición Hospitalaria*.28 (5).

Cuello, F. E. A. (2017) *Proceso de remoción y estabilización/ solidificación de residuos arsenicales líquidos*

Valenzuela, A. Q. (1979) Arsénico y salud. (*Salud pública de México*) época. 21 (2).
187 – 197

Galvao, L. A. C. y Corey, G. (1987) *Arsénico. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud*. Organización Panamericana de la Salud. México.