



UNIVERSIDAD
CIENTFUEGOS
Carlos Rafael Rodríguez

República de Cuba

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

"Evaluación del impacto ambiental del ciclo de vida de la producción porcina en las unidades pertenecientes a Palmira"

**Trabajo de Diploma
Ingeniería Industrial**

**Autoras: Diana Clavijo Cabanes
Odeimys Álvarez Rodríguez**

Tutor: Msc. Mailiu Díaz Peña

Cotutor: Msc. Evelio Angel Álvarez López

Cienfuegos, 2012



Hago constar que el presente trabajo fue realizado en la Universidad de Cienfuegos: “Carlos Rafael Rodríguez” como parte de la culminación de los estudios en la especialidad de Ingeniería Industrial, autorizando a que el mismo sea utilizado por la institución para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos ni publicado sin la aprobación de la Universidad.

Diana Clavijo Cabanes
Autora del trabajo

Odeimys Álvarez Rodríguez
Autora del trabajo

Los abajo firmantes, certifican que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdos de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática señalada.

Información Científico y Técnica.
Nombres, Apellidos y Firma.

Computación
Nombre, Apellidos y Firma.

Tutor: MsC. Mailiu Díaz Peña

Cotutor: MsC. Evelio Angel Álvarez López

Pensamiento



..La presión poblacional y la pobreza conducen esfuerzos desesperados para sobrevivir aún a costa de la naturaleza. No es posible culpar de esto a los países del Tercer Mundo, colonias ayer, naciones explotadas y saqueadas hoy, por un orden económico mundial injusto.

Discurso de Fidel Castro en la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo

(CNUMAD), 1992.

Agradecimientos



*“A los que han aportado con su acción directa porque
este, otro de mis sueños se hiciera realidad.”*

Dedicatoria



*“A todos los que con su empeño luchan cada día porque
un mundo mejor sea posible.”*

Resumen



Resumen

En esta investigación se evalúa el impacto ambiental del ciclo de vida de la producción porcina en las unidades pertenecientes a Palmira, con el uso de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida, para elaborar el inventario, identificar y cuantificar el impacto asociado a este sistema producto y valorar variantes de mejora ambiental. Se toma como referencia la NC-ISO 14040, complementándose con el método de evaluación de impacto: Impact 2002+. A partir del desarrollo de las fases del procedimiento aplicado y con el uso de técnicas propias de Ingeniería Industrial; se logra identificar que las categorías de impacto que más inciden en el proceso es el calentamiento global con 92.5% y la categoría de daño cambio climático, principalmente por las emisiones a la atmósfera de metano y de dióxido de carbono, se determinó que la Integral I y el Multiplicador presentan la mayor huella ecológica, se determinaron los principales fallos del sistema para los cuáles se propusieron dos variantes de mejora ambiental, económica y social, justificadas por el aprovechamiento de los residuos porcinos como fuente de energía renovable, disminuyéndose el impacto en un 4.47% como promedio para la variante I, y en un 12.63% con la segunda variante, y a su vez la huella ecológica. Los resultados alcanzados pueden orientar en la toma de decisiones sobre el aprovechamiento de los residuales porcinos como fuente de energía renovable para mitigar el impacto ambiental y contribuir al aumento de la calidad de vida.

Abstract

In this investigation the environmental impact of the cycle of life of the swinish production is evaluated in the units belonging to Palmira, with the use of the methodology of Life Cycle Assessment, to elaborate the inventory, to identify and to quantify the impact associated to this system product and to value variants of environmental improvement. It takes like reference the NC-ISO 14040, being supplemented with the method of impact evaluation: Impact 2002+. Starting from the development of the phases of the applied procedure and with the use of technical characteristic of Industrial Engineering; it is possible to identify that the impact categories that more impacts in the process are the global warming with 92.5% and the category of damage climatic change, mainly for the atmosphere emissions of methane and carbon dioxide, it was determined that the Integral I and the Multiplicador have the biggest ecological print, the main shortcomings of the system were determined for those which they intended two variants of environmental, economic and social improvement, justified by the use of the swinish residuals as source of renewable energy, diminishing the impact in 4.47% like average for the varying I, and in 12.63% with the second variant, and in turn the ecological print. The reached results can guide in the taking of decisions on the swinish use of the residual ones as source of renewable energy to mitigate the environmental impact and to contribute to the increase of the life quality.

Índice



TABLA DE CONTENIDO	Pág.
Resumen	10
Introducción.....	16
Capítulo 1 – “Marco teórico de la Investigación”	22
1.1– Gestión de Procesos	23
1.1.1 – Conceptos y definiciones	23
1.1.2 – Contexto de Gestión Ambiental a nivel internacional.....	24
1.2 – Desarrollo Sostenible	25
1.2.1 – Ecoeficiencia.....	26
1.2.2 – Indicadores de desarrollo sostenible	29
1.3 – Análisis de Ciclo de Vida	31
1.3.1 – Antecedentes	31
1.3.2 – Conceptos y Normas del ACV.....	32
1.3.3 – Fases del análisis de ciclo de vida	33
1.3.4 – Métodos de evaluación	35
1.3.5 – Soporte Informático.....	36
1.3.6 – Importancia de la herramienta de ACV	37
1.4 – Impacto Ambiental en la producción porcina.....	38
1.4.1 – Contexto Internacional	38
1.4.2 – Contexto Nacional.....	40
Capítulo 2 – “Parte Experimental”	46
2.1 – Descripción del objeto de estudio	46
2.1.1 – Caracterización de la empresa porcina en Cienfuegos	46
2.1.2 – Macrolocalización del proyecto	46
2.1.3 – Microlocalización del proyecto	48
2.1.4 – Descripción de las unidades	48
2.2 – Justificación del estudio	50
2.3 – Procedimiento de Análisis de Ciclo de Vida	51
2.3.1 – Etapa 1: Definición de los objetivos y alcance.....	52
2.3.2 – Etapa 2: Análisis de Inventario.....	55
2.3.3 – Etapa 3: Evaluación del impacto	57
2.3.3.1 – Métodos para evaluar el impacto ambiental	59
2.3.3.2 – Método de cálculo de la huella ecológica	62
2.3.3.3 – Análisis de criterios de expertos con el método Delphi.....	63
2.3.3.4 – Análisis de Modos y Efectos de Fallos	65

2.3.4 – Etapa 4: Análisis de mejoras.....	65
Capítulo 3 – “Análisis de los resultados”	69
3.1 – Definición de objetivos y alcance	69
3.2 – Elaboración del inventario del ciclo de vida de la producción porcina	70
3.2.1 – Descripción del sistema de tratamiento residual de las unidades porcinas evaluadas	71
3.3 – Evaluación del impacto del ciclo de vida de la producción porcina.....	74
3.3.1 - Cálculo de Huella Ecológica	76
3.3.2 – Resultados del procesamiento del método Delphi.....	77
3.3.3 - Análisis de Modo y Efectos de Fallos (FMEA)	78
3.4 –Valoración de variantes de mejora ambiental	79
3.4.1- Valoración de la variante I	79
3.4.2 - Valoración de la variante II	81
3.4.3 - Factibilidad ambiental de las variantes propuestas	81
3.4.4 - Beneficios ecológicos, económicos y sociales de las variantes evaluadas	83
Conclusiones Generales.....	87
Recomendaciones.....	89
Bibliografía.....	91
Anexos	

Introducción



Introducción

A partir de los años 1960's el ambiente natural comienza a ser considerado en la toma de decisiones; pero no de una forma global, sino abordando problemas ambientales específicos, lo cual no representa una solución a largo plazo porque sólo se logran trasladar los efectos ambientales entre áreas geográficas, vectores (aire, agua, suelo) o a través del tiempo (Güereca, 2006).

El deterioro que viene sufriendo el medio ambiente afecta seriamente a la naturaleza, en la que se aprecia elevados niveles de: consumo de recursos naturales (incluyendo las tierras fértiles), contaminación de la atmósfera y el agotamiento y/o contaminación de los recursos hidrológicos, todo ello es fruto, principalmente, de la intensa actividad humana (Cardim, 2001).

En el año 2002, los líderes de varios gobiernos del mundo y representantes de la industria y la sociedad civil se reunieron en el encuentro mundial para el desarrollo sustentable en Johannesburgo. En esta reunión los participantes analizaron las fallas y los éxitos de los últimos treinta años, anticipando los compromisos y los obstáculos que tendrá la humanidad en relación a los desafíos del Desarrollo Sustentable. Uno de los resultados de esta reunión, es un Plan de Implementación para cambiar los patrones no sustentables de consumo y producción. Entre los elementos del plan hay un llamado para: *“mejorar los productos y servicios a la vez que se reducen los impactos en salud y medio ambiente, usando donde sea apropiado, modelos científicos como el análisis de ciclo de vida (ACV)”* (Suppen & Van, 2007).

La gestión ambiental es el conjunto de acciones emprendidas por la sociedad, o parte de ella, con el fin de proteger el medio ambiente. Sus propósitos están dirigidos a modificar una situación actual a otra deseada, de conformidad a la percepción que sobre ella tengan los actores involucrados. La gestión ambiental no solamente está referida al gobierno, sino que crecientemente depende de fuerzas sociales de muy diversa naturaleza (Rodríguez, 2005).

En Cuba se ha hecho un gran esfuerzo por la conservación ambiental, aún cuando se ha trabajado para solucionar las dificultades, las limitaciones económicas agravadas por el bloqueo imperialista no han permitido revertir en la magnitud necesaria las deficiencias heredadas, además, el desarrollo vertiginoso de programas económicos no siempre contó con priorizar la solución adecuada respecto al tratamiento de residuales, ha estado influido por falta de conciencia y educación ambiental, inciden además, los problemas regionales o globales como los cambios climáticos. Desde el triunfo de la Revolución se luchó por el desarrollo de una cultura porcina, ya que con anterioridad ésta era muy extensiva y estaba sustentada sobre escasos conocimientos técnicos. Los primeros pasos fueron la importación de animales de diferentes razas especializadas y la construcción de los centros genéticos porcinos (Reyes, 2010).

Actualmente se cuenta con el conocimiento de tecnologías establecidas y en desarrollo para el tratamiento y depuración de prácticamente cualquier tipo de agua residual. Es así como las excretas porcinas, vistas por muchos como un contaminante ambiental de importancia puede generar recursos mediante la utilización de los remanentes orgánicos producto del manejo de porcinos, es una práctica que se ha utilizado poco posiblemente porque no se conoce bien el beneficio que esto trae al suelo, a la población y al ambiente en general (Androvetto, 2003).

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta que permite identificar, evaluar y cuantificar los impactos ambientales de productos o servicios de una forma global porque considera todas las etapas del ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas hasta su disposición final y todos los vectores involucrados; logrando el desarrollo sostenible y la ecoeficiencia de las producciones y servicios (Suppen & Van, 2007).

Situación Problemática

En el municipio de Palmira se encuentran tres de las instalaciones porcinas más importantes de la provincia, con el mayor número de animales: Integral I, Integral II y el Multiplicador. El Multiplicador cuenta con 13 naves de ellas 4 son de reproducción, 3 de maternidad y 6 de preceba, con un total de 1933 animales como promedio en el mes, siendo esta la unidad más pequeña. La Integral I y II tienen 26 naves cada una, de ellas 8 son de reproducción, 6 de maternidad y 12 de preceba, con un promedio mensual de 4948 y 3966 animales respectivamente. Cada unidad tiene su sistema de tratamiento de residuales líquidos constituido por lagunas de oxidación, y en el caso de la Integral II tiene además 8 lechos de secado y dos trampas de sólidos.

Se conoce que el ciclo de vida de la producción porcina genera como promedio a la atmósfera:

- 25 l de residual líquido diario para un animal de 90kg.
- 2.25 kg de excreta sólida por día para un animal de 50 kg.
- 0.968 kg de Demanda Biológica de Oxígeno para un animal de 100 kg.

La excreta porcina genera emisiones al aire:

- 60% de metano (CH_4).
- 40% de dióxido de carbono (CO_2).
- 3% de amoníaco (NH_3).
- 1% de sulfuro de hidrógeno (SH_2).

Debido a su alta concentración de materia orgánica y los grandes volúmenes de agua que se manipulan, estas instalaciones son un foco contaminante que afecta las aguas terrestres y marinas; siendo los mayores contaminadores por materia orgánica de la Cuenca Salado, que

desemboca en la bahía cienfueguera. Este impacto ambiental no está cuantificado ni están identificadas las categorías de impacto y de daño que están siendo afectadas.

Problema de Investigación

¿Cuáles son las categorías de impacto y de daño ambiental más afectadas con el ciclo de la producción porcina en las unidades pertenecientes a Palmira en el año 2011?

Hipótesis

La evaluación de impacto ambiental del ciclo de vida de la producción porcina aplicando la metodología de análisis de ciclo de vida según la serie de norma NC-ISO: 14 040 permitirá identificar las categorías de impacto más afectadas.

Variable independiente: Análisis de Ciclo de Vida

Es una metodología objetiva para evaluar cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad; identificando y cuantificando el uso de materia y energía y los residuos que genera.

Se desarrolla en cuatro fases: definición de objetivos y alcance, análisis de inventario, evaluación de impacto y análisis de mejoras.

Variable dependiente: Evaluación de impacto ambiental

Proceso para evaluar y ponderar efectos de las cargas ambientales del inventario, examinando un sistema o producto desde una perspectiva medioambiental usando categorías de impacto e indicadores de categorías relacionados con los resultados del inventario.

Esta variable se propone evaluarla empleando un método de evaluación de impacto, que vincula categorías de impacto (punto intermedio) y de daño (punto final): Impact 2002+, y se utiliza el software SimaPro 7.1.

Variable dependiente: Identificación de categorías de impacto

Efectos sobre el medio ambiente que causan los aspectos medioambientales del sistema o producto. Estas se agrupan según parámetros asociados a los flujos de entrada y salida del sistema, y tienen distintos ámbitos de actuación: global, regional o local.

Esta variable se identifica a partir de un método de evaluación que consiste en asignar y modelar los datos del inventario a la totalidad de las cargas ambientales del sistema analizado, las categorías medidas son: efectos respiratorios, toxicidad, deterioro de la capa de ozono, ecotoxicidad, acidificación, eutrofización, uso de la tierra, calentamiento global, extracción de minerales, energías no renovables.

Objetivo General:

Evaluar el impacto ambiental del ciclo de vida en la producción porcina aplicando la metodología de análisis de ciclo de vida en las Unidades pertenecientes a Palmira en el año 2011.

Objetivos Específicos:

1. Elaborar el inventario del ciclo de vida de la producción porcina.
2. Identificar las categorías de impacto y de daño más afectadas en el ciclo de vida de la producción porcina en las unidades pertenecientes a Palmira.
3. Valorar variantes que disminuyan el impacto ambiental del ciclo de vida de la producción porcina en las unidades objeto de estudio.

La **justificación de la investigación** consiste en el beneficio que le aporta a las Unidades Porcinas y a la Empresa, tener identificadas y cuantificadas las categorías de impacto y de daño que son afectadas con el ciclo de vida de sus procesos, para tener un mayor control de los residuales que se generan, y la propuesta de emplear biodigestores como alternativa ecológica para disminuir las cargas contaminantes al medio y aprovechar los gases que se producen como fuente de energía renovable, demostrándose en la investigación su factibilidad ambiental, técnica y económica.

Tipo de Investigación: Descriptiva

Metodología aplicada en la investigación

Métodos teóricos

- Análisis y consulta de documentos y artículos, para la síntesis de los conceptos abordados.

Métodos empíricos

- Observaciones directas, entrevistas con los trabajadores y consulta de las normas NC-ISO: 14 040 a la NC-ISO: 14 049.
- Consulta de información en: Manual de Procedimientos Técnicos para la Crianza Porcina, Manual de Crianza para Centros Genéticos Porcino, Tecnologías y Procedimientos para la Crianza Porcina con Alimentos Nacionales, Biodigestores
- Método Delphi.
- Utilización de diagramas IDEFO y mapa SIPOC para la representación de los procesos.
- Diagrama de Pareto.
- Análisis de modo y efectos de fallos (FMEA)

Aporte Novedoso

Se evalúa el impacto ambiental que tiene el ciclo de la producción porcina, describiendo cada etapa del proceso para identificar las categorías que más inciden acorde con las normas NC-ISO: 14 040 aplicando la metodología de ACV. Este es el primer estudio de Análisis de Ciclo de Vida

que se realiza en las unidades porcinas estudiadas.

Aporte Ambiental y Económico

La propuesta de empleo de biodigestores de cúpula fija en cada unidad, para la gestión de los residuales porcinos, disminuye la carga contaminante al medio; se producen 12.6 y 18.3 m³ de biogás diarios para la cocción de los alimentos.

Al concluir la investigación, queda estructurada la investigación de la siguiente manera:

Capítulo I: Marco Teórico

En este capítulo se abordan los elementos necesarios para la fundamentación de la investigación tales como Gestión de Procesos, Gestión Ambiental, Análisis de Ciclo de Vida y el Impacto ambiental de la producción porcina desde una perspectiva global a un plano específico.

Capítulo II: Parte Experimental

Se caracterizan las Unidades Integrales pertenecientes a Palmira de la Empresa Porcina Cienfuegos y se plantea una metodología para evaluar el impacto ambiental del ciclo de vida de la producción porcina basada en las normas NC-ISO 14 040.

Capítulo III: Análisis de los Resultados

En este último capítulo se aplica la metodología para evaluar el impacto ambiental del ciclo de vida de la producción porcina, se realiza el inventario, se identifican las categorías de impacto más afectadas y se valoran variantes de mejora ambiental para la producción porcina en las unidades objeto de estudio.

Capítulo I

Capítulo 1 – “Marco teórico de la Investigación”

En este capítulo se abordan aspectos esenciales del estudio bibliográfico con la finalidad de justificar el basamento científico de este trabajo, tomando como referencia textos representativos y actualizados que relacionan las temáticas sobre gestión de procesos, la gestión ambiental, Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y determinación de los impactos ambientales de la producción porcina.

En el presente capítulo se expresan y analizan las principales teorías, enfoques técnicos y resultados de trabajos empíricos relacionados con el temático objeto de investigación con el fin de sustentarlo teóricamente. En su desarrollo se ha tenido como guía el hilo conductor representado en la figura 1.1.

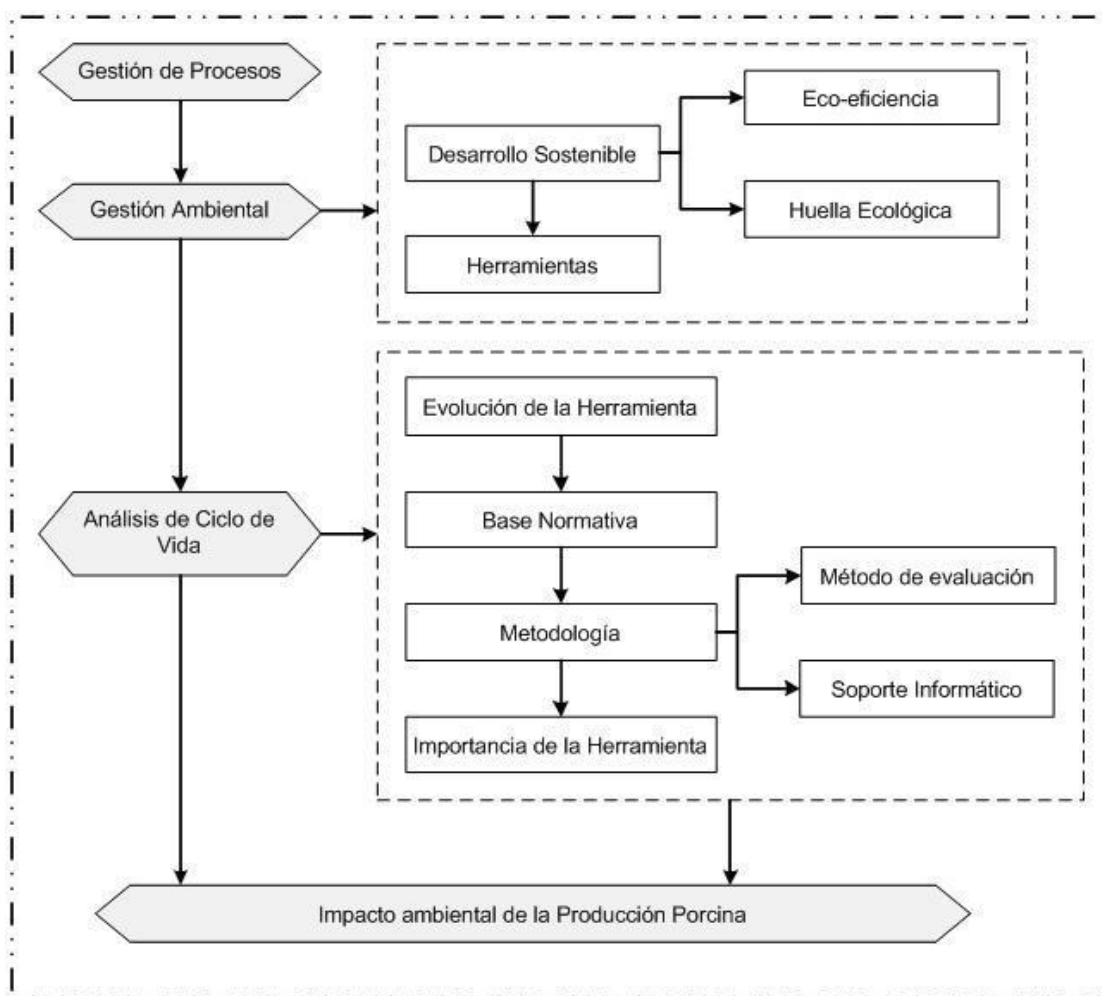


Figura 1.1 – Hilo Conductor del marco teórico de la investigación.

Fuente: Elaboración propia.

1.1– Gestión de Procesos

1.1.1 – Conceptos y definiciones

El entorno dinámico en el que se mueven actualmente las organizaciones provoca grandes impactos sobre su capacidad para cumplir las metas, objetivos e indicadores de gestión. Desde los años ochenta (80), la gestión por procesos ha sido demandada por todo tipo de organizaciones.

Definimos proceso como:

Conjunto de actividades destinadas a generar valor añadido sobre las entradas para conseguir un resultado que satisfaga plenamente los requerimientos del cliente (Pons & Villa, 2006).

Gestión de todas las actividades de la empresa que generan un valor añadido; o bien, conjunto de actividades mutuamente relacionadas que interactúan, las cuales transforma elementos de entrada en resultados (Toledo, 2002, p. 5).

El conjunto de actividades secuenciales que realizan una transformación de una serie de inputs (material, mano de obra, capital, información, etc.) en los outputs deseados (bienes y/o servicios) añadiendo valor" (Joaquín & Blaya, n.d., p. 2).

Actividad, o conjunto de actividades ligadas entre sí, que utiliza recursos y controles para transformar elementos de entrada (especificaciones, recursos, información, servicios,...) en resultados (otras informaciones, servicios,...) (Fomento, 2005).

Atendiendo a su finalidad, los procesos pueden clasificarse en tres categorías: Procesos estratégicos, Procesos operativos, y Procesos de soporte. Ver Figura 1.2 (Pons & Villa, 2006).

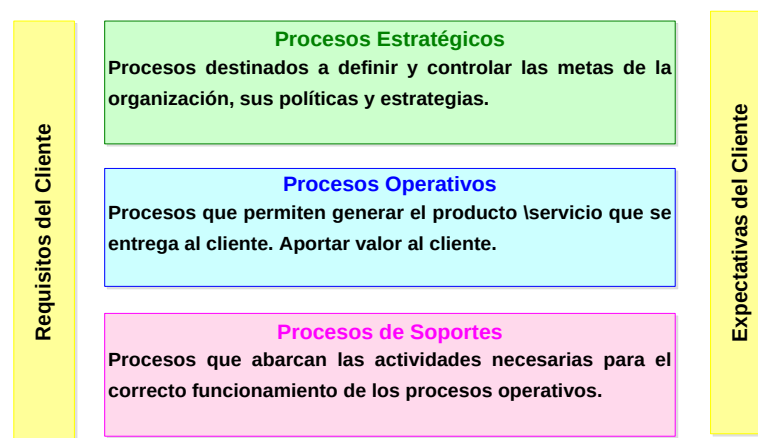


Figura 1.2- Tipos de Procesos. Fuente: (Pons & Villa, 2006).

Procesos estratégicos: Son procesos destinados a definir y controlar las metas de la organización, sus políticas y estrategias. Permiten llevar adelante el desarrollo de la organización. Se encuentran relacionados directamente con la misión/visión de esta.

Procesos operativos ó claves: Son procesos que permiten generar el producto/servicio que se entrega al cliente, por lo que inciden directamente en la satisfacción del cliente final.

Procesos de soporte o apoyo: Son los procesos que dan soporte a los procesos operativos. Se suele referir a procesos relacionados con recursos y mediciones.

La gestión por procesos (*Business Process Management*) es una forma de organización diferente de la clásica organización funcional, y en el que prima la visión del cliente sobre las actividades de la organización. Los procesos así definidos son gestionados de modo estructurado y sobre su mejora se basa la de la propia organización. La gestión de procesos aporta una visión y unas herramientas con las que se puede mejorar y rediseñar el flujo de trabajo para hacerlo más eficiente y adaptado a las necesidades de los clientes. No hay que olvidar que los procesos lo realizan personas y los productos los reciben personas, y por tanto, hay que tener en cuenta en todo momento las relaciones entre proveedores y clientes (Toledo, 2002, p. 6).

La gestión por procesos busca reducir la variabilidad innecesaria que aparece habitualmente cuando se producen o prestan determinados servicios y trata de eliminar las ineficiencias asociadas a la repetitividad de las acciones o actividades, al consumo inapropiado de recursos, etc (Joaquín & Blaya, n.d.).

La gestión por procesos es un sistema de trabajo para la mejora continua. Se basa en la identificación y gestión sistemática de los procesos (implica documentarlos, medirlos y mejorarlos) y debe partir de la estrategia de la organización.

Beneficios de la Gestión por Procesos

- Facilita la gestión de la ejecución de los procesos.
- Análisis de puntos fuertes y áreas de mejora.
- Identificación de las tareas o trabajos que realiza cada puesto.
- Conocer dónde empieza y acaban las responsabilidades de cada puesto.
- Identificar la interacción y secuencia entre tareas, trabajos o actividades.
- Identificar los recursos, información que se necesitan para ejecutar los procesos.
- Identificar procesos críticos y cuellos de botella.
- Aumenta la capacidad de reacción de la empresa ante los cambios.

1.1.2 – Contexto de Gestión Ambiental a nivel internacional

Desde los años 60 se advierte una preocupación e interés por el medio ambiente, así como la necesidad de su conservación dando lugar a toda una serie de tratados, directivas y normas que procuran regular y controlar el impacto medioambiental causado por el hombre. Se inició así el desarrollo de una creciente sensibilidad ante estos problemas ambientales por parte de todos los sectores de la sociedad. En este proceso tienen lugar una serie de acontecimientos a escala

internacional, incentivos de un nuevo rumbo en la forma de tratar e interpretar el deterioro ambiental del planeta (ver Anexo 1).

La gestión ambiental es el conjunto de acciones emprendidas por la sociedad, o parte de ella, con el fin de proteger el medio ambiente. Sus propósitos están dirigidos a modificar una situación actual a otra deseada, de conformidad a la percepción que sobre ella tengan los actores involucrados. Se expondrán ahora algunos conceptos de gestión ambiental (ver Anexo 2).

Dentro del concepto del desarrollo sustentable la gestión medio ambiental se convierte en el principal instrumento de desarrollo, concebido en términos de beneficio social, igualdad y equidad.

1.2 – Desarrollo Sostenible

A partir de la década de los años ochenta del pasado siglo XX se realizan las principales cumbres internacionales medioambientales, especialmente la Cumbre de Río de Janeiro, Brasil del año 1992. En ella se fundamentan los más importantes principios en procura del desarrollo sostenible a ser aplicados en todo el contexto mundial en las próximas décadas, como una garantía de futuro para la misma supervivencia del Planeta Tierra. Hace reflexionar que así como se han desarrollado diversos intentos en instituciones internacionales, como la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en pro de alcanzar el Desarrollo Sostenible, por igual, se han desarrollado similares esfuerzos en el campo empresarial de la ingeniería de productos y procesos industriales. Según *Fiksel* (1997), existieron desde finales de la década de los años ochenta, los primeros esfuerzos empresariales plasmados en los Estados Unidos, y que fueron acompañados de una profunda preocupación por una parte del sector industrial norteamericano en pro de disminuir la fuerte contaminación, la emanación de residuos, los daños a la salud, etc., que produce la actividad industrial al medio ambiente y a los seres humanos (Cloquell, Contreras, & Owen, n.d.).

«Desarrollo sostenible es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.»

El desarrollo sostenible afecta a cuestiones fundamentales de índole social, medioambiental y económica; requiere de la utilización de tecnologías sostenibles, capaces de proporcionar soluciones prácticas para alcanzar el desarrollo económico y la satisfacción de las necesidades humanas en armonía con el entorno.

Las características que debe reunir un desarrollo para que sea sustentable según Cendero (1996):

- Ambientalmente realista (acorde con el funcionamiento y limitaciones de los sistemas naturales).
- Socialmente justo (evitando desigualdades que no son éticamente admisibles y que puedan dar lugar a tensiones que hagan el sistema inviable).

- Económicamente viable (de forma que no requiera recursos muy costosos o exija sacrificios dolorosos).
- Políticamente aceptable (que no sea rechazado por la sociedad).

En la Figura 1.3 Se ilustran los pasos por los que ha transitado el desarrollo sostenible (Carranza, 2008).

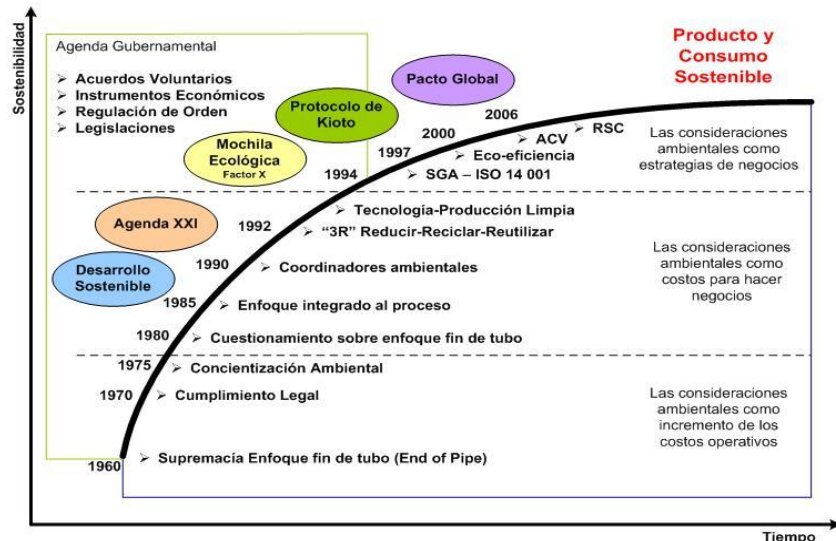


Figura 1.3 – Pasos para el desarrollo sostenible. Fuente: (Carranza, 2008)

1.2.1 – Ecoeficiencia

El concepto de ecoeficiencia nace de la concepción global de los impactos ambientales de las diferentes fases del ciclo de vida de un producto, y de la voluntad de reducir los diferentes efectos ambientales negativos.

Una definición de ecoeficiencia es la siguiente: “Proporcionar bienes y servicios a un precio competitivo, que satisfaga las necesidades humanas y la calidad de vida, al tiempo que reduzca progresivamente el impacto ambiental y la intensidad de la utilización de recursos a lo largo del ciclo de vida, hasta un nivel compatible con la capacidad de carga estimada del planeta” *World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)*.

Para Kicherer *et al.* (2007) la ecoeficiencia es una eficiencia ecológica y económica que mide el impacto medioambiental causado por unidad monetaria ganada. Desimone y Popoff (2000) consideran la ecoeficiencia como la respuesta de las empresas al desafío del desarrollo sostenible. Para Huppess y Ishikawa (2005) la ecoeficiencia es un instrumento para el análisis de la sostenibilidad, indicando una relación empírica entre valor económico e impacto ambiental. El concepto de ecoeficiencia está ligado al concepto de sostenibilidad si bien mejorar la ecoeficiencia no implica garantizar la sostenibilidad. En efecto, aunque se logre un nivel de impacto ambiental

bajo en relación al valor económico obtenido, el impacto ambiental absoluto puede exceder la capacidad del ecosistema (Ribal & Sanjuan, n.d.).

Kuosmanen y Kortelainen (2005) consideran útil el concepto de ecoeficiencia por dos razones:

- Es el modo más efectivo de reducir los impactos ambientales, y además, las políticas derivadas son más fáciles de adoptar que las políticas que restringen el nivel de actividad económica.
- El concepto y la búsqueda de la ecoeficiencia se justifican por la necesidad de lograr un objetivo de calidad ambiental a nivel microeconómico, bien mediante políticas públicas o mediante instrucciones y demostraciones a individuos y empresas.

En la Figura 1.4 Se representa un esquema con la relación existente entre el desarrollo sostenible y la ecoeficiencia (Carranza, 2008).



Figura 1.4 – Relación entre el desarrollo sostenible y la ecoeficiencia.

Fuente: (Carranza, 2008)

La ecoeficiencia implica la consecución de estándares de calidad de vida mediante la producción de bienes y servicios, sin menoscabo del cuidado ambiental. Todo ello se puede alcanzar mediante procesos limpios, un consumo responsable y sostenible creando valor por parte de las empresas para conseguir una sostenibilidad económica. La Figura 1.5 Resume lo explicado (López, 2006):

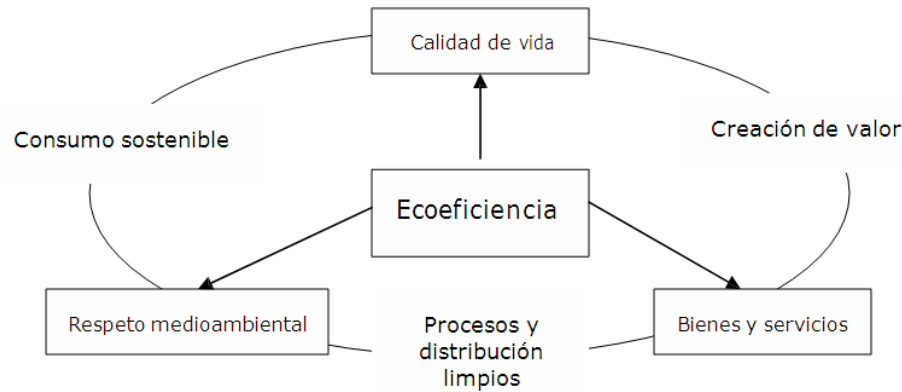


Figura 1.5 – Factores que intervienen en la ecoeficiencia. Fuente: (López, 2006)

También se puede entender la ecoeficiencia como la relación entre el valor del producto o servicio producido por una empresa y la suma de los impactos ambientales a lo largo de su ciclo de vida:

$$\text{Ecoeficiencia} = \text{valor del producto o servicio} / \text{impacto ambiental}$$

Para las empresas la ecoeficiencia es "producir más con menos". Una gestión ecoeficiente de los procesos de producción o de los servicios de una empresa debe conllevar (López, 2006).

Administración ambiental en la empresa: objetivos corporativos, auditorías, balances ecológicos (métodos microeconómicos de insumo-producto), control ambiental, nivel de cumplimiento de la legislación y de normas ambientales internacionales.

- Productos y servicios: evaluación de los efectos directos e indirectos de los productos y servicios (longevidad, reuso, diseño para el reciclaje, materiales ambientalmente compatibles, reducción de emisiones, uso de recursos naturales, etc.)
- Parámetros de ecoeficiencia: uso de energía, de agua, emisiones a la atmósfera, descargas de aguas residuales y residuos como proporción de flujo de efectivo, ventas, producción, número de empleados, valor agregado u otra referencia económica.

Principales herramientas administrativas de la ecoeficiencia

Existen varias herramientas administrativas que son útiles para identificar y seleccionar áreas de oportunidad en las empresas y cuya aplicación debe ser promovida como parte de la cultura ecoeficiente. Las más comunes son (López, 2006):

- Eco diseño.
- Buenas prácticas.
- Ahorro de energía, agua y materias primas.
- Reingeniería.

- Producción limpia.
- Valorización de residuos.
- Sistemas de gestión ambiental.
- Análisis de Ciclo de Vida (ACV).
- Contabilidad empresarial.
- Externalidades.
- Consumo verde.
- Información ambiental

De todas las herramientas mencionadas el ACV es la más adecuada como una herramienta de sustentabilidad por las siguientes razones:

- Se adecua a aquellos estudios que tengan como base conceptual el ciclo de vida del producto o servicio, permitiendo disminuir la contaminación que la industria genera en todo su ciclo de vida y a su vez consigue minimizar el consumo de recursos sin olvidar los parámetros de calidad del producto final.
- El enfoque del ciclo de vida es un prerrequisito para cualquier evaluación sólida de sustentabilidad, esto permite evitar que se transfieran impactos a la sociedad, a la economía y al ambiente.

1.2.2 – Indicadores de desarrollo sostenible

Las teorías de desarrollo sostenible y la preocupación por la conservación del capital natural del planeta han adquirido una mayor fuerza durante las últimas décadas, dada la mala gestión y uso del mismo por parte de las distintas poblaciones que en él habitan. Es por esto que aparecen en escena indicadores que ayudan a determinar el impacto ambiental generado por los habitantes para con el planeta; uno de estos indicadores es la huella ecológica (Carreño & Hoyos, 2010).

La huella ecológica (FP por sus siglas en inglés) es ampliamente usada alrededor del mundo como indicador de sustentabilidad ambiental. Puede ser usado para medir y manejar el uso de los recursos de forma económica. Es comúnmente utilizado para explorar la sustentabilidad de los estilos de vida, bienes y servicios, organizaciones, la industria, a nivel regional y nacional. Lo que no se puede medir, no se puede manejar, es el concepto práctico detrás de la huella ecológica. Esta es una herramienta esencial para los gobiernos, administradores de negocios y grupos interesados en la planificación del uso de los recursos naturales (Aponte, 2006).

La huella ecológica es un indicador de sostenibilidad de índice único, desarrollado por Rees y Wackernagel en 1996, que mide todos los impactos que produce una población, expresados en hectáreas de ecosistemas o “naturaleza”. Utilizada habitualmente para regiones o países, en anteriores trabajos hemos constatado que dicho indicador podía utilizarse también en las empresas y en cualquier tipo de organización. La huella ecológica transforma todos los consumos de materiales y energía a hectáreas de terreno productivo (cultivos, pastos, bosques, mar, suelo construido o absorción de CO₂) dándonos una idea clara y precisa del impacto de nuestras actividades sobre el ecosistema. Bajo nuestro punto de vista, es el indicador “final” porque transforma cualquier tipo de unidad de consumo (toneladas, kilowatios, litros, etc.), así como los desechos producidos, en un único número totalmente significativo (Doménech, 2006).

«La huella ecológica es un indicador ambiental de carácter integrador del impacto que ejerce una cierta comunidad humana, país, región o ciudad sobre su entorno». Es el área de terreno necesario para producir los recursos consumidos y para asimilar los residuos generados por una población determinada con un modo de vida específico, donde quiera que se encuentre esa área (Moreno, 2005).

La Huella Ecológica es definida como “La superficie de tierra productiva o ecosistema acuático necesario para mantener el consumo de recursos y energía, así como para absorber los residuos producidos por una determinada población humana o economía, considerando la tecnología existente, independientemente de en qué parte del planeta está situada esa superficie”. Su punto de partida es la asunción de que, tanto el consumo de recursos, como la generación de residuos, pueden ser convertidos en la superficie productiva necesaria para mantener estos niveles de consumo o, en otros términos, en la Huella Ecológica. Ésta es comparada con la superficie disponible, asumiendo que las poblaciones con una huella superior a la superficie de la que disponen son insostenibles (Lenzen et al., 2003), existiendo lo que se denomina déficit ecológico.

La metodología de cálculo consiste en contabilizar el consumo de las diferentes categorías y transformarlo en la superficie biológica productiva apropiada a través de índices de productividad.

Estas categorías son:

- Cultivos: área para producir los vegetales que se consumen. Constituye la tierra más productiva ecológicamente, y genera la mayor producción neta de biomasa utilizable por las comunidades humanas.
- Pastos: área dedicada al pastoreo de ganado.
- Bosques: área en explotación para producir la madera y el papel.
- Mar productivo: área para producir pescado y marisco.
- Terreno construido: áreas urbanizadas u ocupadas por infraestructuras.

- Área de absorción de CO₂: superficie de bosque necesaria para la absorción de la emisión de CO₂ debida al consumo de combustibles fósiles para la producción de energía. Se contabilizan consumos en la producción de bienes, gastos en vivienda y transportes, entre otros.

Huella ecológica corporativa o empresarial.

La huella ecológica corporativa permite establecer objetivos claros y concretos de sostenibilidad ambiental; permite la integración de indicadores, ciclo de vida y eco-etiquetado, en una única herramienta; y aporta un nuevo método de decisión política para luchar, de forma más justa, contra el cambio climático (Doménech, 2009).

Métodos de Cálculo de la Huella Ecológica

Existen diferentes alternativas metodológicas que estiman la HEC. El método compuesto de las cuentas contables (MC3) (Doménech 2007), la PAS 2050 (Carbon Trust 2007), la aproximación de los componentes (Simmons & Chambers 1998); (Chambers & Lewis 2001) o la aplicación de técnicas input-output en este contexto (Murray & Dey 2007); (Wiedmann & Lenzen 2009); (Wiedmann 2009) son propuestas que coinciden en los objetivos, empleando medios distintos para obtenerlos. De ahí que existan diferencias relevantes en términos del método de cálculo y algunas asunciones presentes en la estimación del indicador (actividades incluidas, uso de factores de equivalencia y rendimiento.). La HEC de una empresa será, probablemente, notablemente diferente, en función de la alternativa elegida¹ (Carballo, 2009).

1.3 – Análisis de Ciclo de Vida

1.3.1 – Antecedentes

El ACV tuvo sus comienzos en Estados Unidos y Europa, especialmente la metodología que prevaleció para los proyectos y estudios de ACV fue Repa, desde principios de la década de los setenta hasta finales de la década de los ochenta. En los comienzos de los años noventa y hasta finales de la misma década prevalece el marco de trabajo de la SETAC para los estudios de ACV. A partir de 1997 empieza a prevalecer el marco de trabajo de la ISO para los estudios de ACV. Desde comienzos de la década de los setenta hasta mediados de la década del 2000, el principal énfasis ha sido perfeccionar las metodologías de ACV (el énfasis era “Cómo aplicar el ACV”). Desde mediados de la década del 2000 se empiezan a hacer esfuerzos para el desarrollo de estrategias, programas y metodologías para que las empresas y gobiernos usen o apliquen el ACV (el énfasis es “Cómo usar el ACV”) (Chacón, 2008).

¹A nivel de HE de poblaciones, la estimación de la HE de Nueva Zelanda empleando métodos de cálculo basados en diferentes hipótesis propició importantes diferencias, con un máximo de 9,6 ha/hab. y un mínimo de 3,4 ha/hab. (McDonald & Patterson, 2003).

A partir de la década del 2000 se pasa de hablar de ACV a gestión del ciclo de vida, que incorpora no sólo los aspectos e impactos ambientales, sino también consideraciones económicas y sociales; hasta hoy se continúan estudiando métodos internacionalmente aceptados para incorporar estos dos últimos aspectos al ACV. En el Anexo 3 se hace un resumen cronológico del ACV que recoge de manera sucinta los principales aspectos expuestos a lo largo del presente artículo.

1.3.2 – Conceptos y Normas del ACV

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una metodología internacionalmente aceptada y reconocida para la evaluación de cargas e impactos ambientales asociados a la elaboración de un producto o proceso, teniendo en cuenta todas las etapas de la vida del mismo. Es una herramienta que va más allá de la decisión netamente ambiental, ya que abarca todas las entradas y salidas, directas e indirectas, lo que permite manejar todos los factores ambientales. Además, la metodología es cuantitativa, y por tanto amplía de forma objetiva los elementos de juicio necesarios para la toma de decisiones, compatibilizando la preocupación por el medio ambiente y los beneficios económicos en el análisis y gestión de la contabilidad tradicional, constituyendo por lo tanto una poderosa herramienta de gestión (Uche, 2004).

La metodología del análisis del ciclo de vida (ACV) es una técnica que se emplea para evaluar la influencia de un proceso o de un producto sobre el medio ambiente, a lo largo de su ciclo de vida (desde la extracción de las materias primas hasta su fin de vida) (Castilla, 2005).

El Análisis de Ciclo de Vida se considera un método fiable para evaluar las interrelaciones entre los sistemas de producción, productos o servicios y el medio ambiente. ACV cuantifica, cualifica y valora los flujos de un sistema – entradas (materia y energía) y salidas (producto, coproducto, emisiones al aire, agua y suelo) – para posteriormente evaluar los impactos potenciales que estos causan al medio ambiente. Sus resultados entre otras funciones sirven como apoyo al desarrollo de productos considerados medioambientalmente correctos (Cardim, 2001).

El análisis de ciclo de vida (ACV), en teoría, es un método analítico (Chacón, 2008) que contempla y hace una interpretación de los impactos ambientales potenciales de un producto o servicio a lo largo de su ciclo de vida. El ACV es “la recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema producto a través de su ciclo de vida” (NC-ISO14040,1999). El análisis incluye entonces la extracción de materias primas, producción, transporte, distribución, uso, reciclaje y disposición final.

El análisis de ciclo de vida se considera un método fiable para evaluar las interrelaciones entre los sistemas de producción, productos o servicios y el medio ambiente. El ACV cuantifica, cualifica y valora los flujos de un sistema, entradas (materia y energía) y salidas (productos, coproductos,

emisiones al aire, al agua y al suelo), para posteriormente evaluar los impactos potenciales que estos causan al medio ambiente. Sus resultados, entre otras funciones, sirven como apoyo al desarrollo de productos considerados medioambientalmente correctos (Suppen, 2007).

La estructura del ACV se representa como una casa con cuatro habitaciones principales, que están representadas por las normas ISO14040, ISO14041, ISO14042 e ISO14043 (ver Figura 1.6) (Romero, 2004).

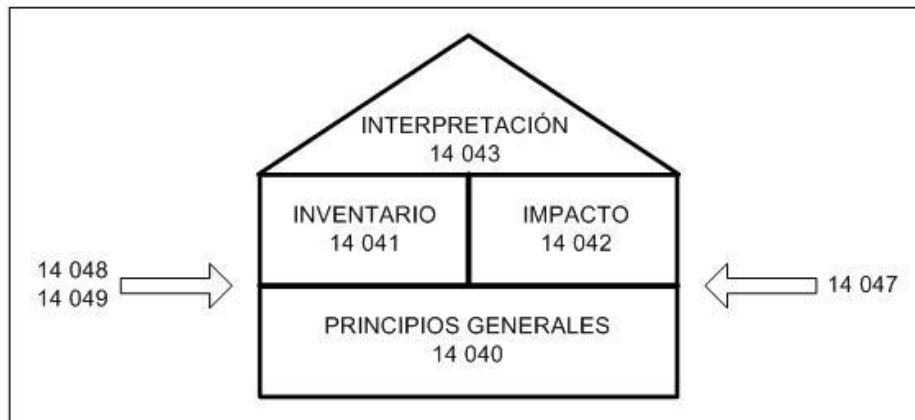


Figura 1.6 – Estructura del ACV. Fuente: (Romero, 2004)

En la norma ISO14040, se establecen los fundamentos de la evaluación del Ciclo de Vida, es decir, el marco metodológico, y se explica brevemente cada una de las fases, la preparación del informe y el proceso de revisión crítica. Mientras que en las tres normas restantes se explican en forma detallada cada una de las fases del ACV.

Actualmente se encuentran en preparación la norma ISO/ TR14047 (sobre ejemplos ilustrativos de cómo aplicar la norma ISO-14042), y la norma ISO-14048 (sobre el formato para la documentación de datos para el ACV). Así como el reporte técnico ISO/TR14049 que versa sobre ejemplos ilustrativos de cómo aplicar la norma ISO14041 (Romero, 2004).

1.3.3 – Fases del análisis de ciclo de vida

El Análisis del Ciclo de Vida comprende cuatro etapas (ver figura 1.7) (Iglesias, 2005)

1. Definición y alcance de los objetivos

Esta etapa del proceso/servicio/actividad se inicia definiendo los objetivos globales del estudio, donde se establecen la finalidad del estudio, el producto implicado, la audiencia a la que se dirige, el alcance o magnitud del estudio (límites del sistema), la unidad funcional, los datos necesarios y el tipo de revisión crítica que se debe realizar.

2. Análisis del inventario (Life Cycle Inventory LCI)

El ACV de un producto es una serie de procesos y sistemas conectados por su finalidad común de creación del producto. El análisis del inventario es una lista cuantificada de todos los flujos entrantes y salientes del sistema durante toda su vida útil, los cuales son extraídos del ambiente natural o bien emitidos en él, calculando los requerimientos energéticos y materiales del sistema y la eficiencia energética de sus componentes, así como las emisiones producidas en cada uno de los procesos y sistemas.

3. La evaluación de impactos. (Life Cycle Impact Assessment- LCIA)

Según la lista del análisis de inventario, se realiza una clasificación y evaluación de los resultados del inventario, y se relacionan sus resultados con efectos ambientales observables.

4. La interpretación de resultados

Los resultados de las fases precedentes son evaluados juntos, en un modo congruente con los objetivos definidos para el estudio, a fin de establecer las conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones.



Figura 1.7 – Etapas del análisis del ciclo de vida. Fuente: (Suppen, 2007)

El ACV no sigue una metodología fija, no hay una única manera de realizar una evaluación de este tipo. Al contrario, tiene varias alternativas, y por lo tanto se debe estar familiarizado con los métodos científicos de investigación y con la evaluación del sentido común de las cuestiones complejas antes de realizar este tipo de estudio.

1.3.4 – Métodos de evaluación

Para evaluar las cargas ambientales que acompañan diferentes procesos se utilizan algunas metodologías existentes como son: IMPACT 2002+ y Ecoindicador 99; métodos estos de Punto Final ya que combinan categorías de impacto y de daño, mientras los métodos ECOPUNTOS, EPS, EDIP, CML, TRACI denominados de punto Intermedio solo llegan a evaluar el impacto que ocasionan diferentes contaminantes; estos ofrecen sus valoraciones de determinado proceso además de presentar sus características específicas. En el Anexo 4 se distinguen los principales métodos existentes para evaluar el impacto medioambiental.

De acuerdo al conocimiento que brindan y el grado de importancia que generan, los dos métodos más utilizados son:

- Eco-indicador 99

Se enfoca a categorías finales o de daños. Determina un solo valor que indica el impacto ambiental total basado en los efectos calculados (ICV). Cumple con los requisitos de las normas ISO 14 040 – 14 044. Los valores de los eco-indicadores son cifras sin dimensión. Como base se utiliza el punto Ecoindicador (Pt). El valor de 1 Pt representa una centésima parte de la carga ambiental anual de un ciudadano medio europeo.

- Impact 2002+

Esta metodología desarrollada originalmente en el Instituto Suizo Federal de Tecnología, propone una implementación factible de una aproximación combinada de categorías de punto intermedio y daños.

A continuación se explica mediante una serie de pasos, la estructura que sigue la metodología de ACV y en qué consiste cada uno de estos pasos.

Limitaciones de la Metodología

Una vez expuesta la metodología del ACV resulta más fácil de comprender cuáles pueden ser las limitaciones de un estudio de ACV, como principales se pueden citar las siguientes:

- La naturaleza de las elecciones e hipótesis que se hacen en el ACV pueden ser subjetivas. Por ejemplo al establecer los límites del sistema, al seleccionar las fuentes de datos y las categorías de impacto a analizar, etc (Vigon, 1997).
- Los modelos utilizados para el análisis de inventario o para evaluar los impactos ambientales están limitados por las hipótesis y pueden no estar disponibles para todos los impactos potenciales o aplicaciones.

- Los resultados de un ACV orientados a ámbitos globales o regionales pueden no ser apropiados para aplicaciones locales, es decir, las condiciones locales pueden no estar adecuadamente representadas por las condiciones globales o regionales.
- La precisión de los estudios de ACV puede estar limitada por la accesibilidad o disponibilidad de datos importantes, o por la calidad de los mismos.
- La ausencia de dimensiones espaciales y temporales en los datos del inventario utilizado para la valoración del impacto introduce incertidumbre en los resultados de dicho impacto. A pesar de que el Análisis del Ciclo de Vida es una herramienta que se está desarrollando rápidamente, aún requiere de mucho trabajo para alcanzar el consenso y superar las limitaciones que ahora presenta, las cuales se relacionan principalmente con la incertidumbre y la subjetividad.

El método del ACV es de carácter dinámico, y las cuatro etapas en las que se realiza están relacionadas entre ellas, como se esquematiza en la figura siguiente; por lo que a medida que se obtienen resultados, se pueden modificar o mejorar los datos, las hipótesis, los límites del sistema o los objetivos, lo cual exige el recálculo. Este hecho, más la gran cantidad de datos históricos que se deben poseer para realizar un ACV, demuestra la necesidad de contar con un instrumento informático.

1.3.5 – Soporte Informático

Debido a la gran cantidad de datos que hay que manejar para realizar un ACV, es muy recomendable poder disponer de una herramienta informática que permita afrontar de forma eficiente un estudio de un ACV.

Actualmente existe un buen número de programas informáticos en el mercado que permiten realizar estudios de ACV con distinto grado de detalle. A la hora de decidir qué programa adquirir, habrá que considerar diversos criterios. Uno de los puntos clave a valorar es el número de bases de datos que incorpora, su procedencia, calidad y extensión. Asimismo es conveniente que el programa permita editar las bases de datos existentes e importar con facilidad bases de datos nuevas que se puedan adquirir posteriormente. Además habría que valorar la facilidad de manejo del programa en función de la aplicación que va a tener, la posibilidad de utilizar distintos métodos de evaluación de impactos, la trazabilidad de los resultados ofrecidos, la interfaz y las posibilidades gráficas que ofrece y evidentemente su coste económico.

En el Anexo 5 se muestra una recopilación de los principales programas actualmente disponibles, indicando la dirección electrónica de contacto y sus principales características.

1.3.6 – Importancia de la herramienta de ACV

Conforme los especialistas, el ACV es una herramienta importante en la obtención de informaciones detalladas para el proceso de toma de decisiones en ingeniería. Así, si existe la oportunidad de escoger entre una gama de materiales y procesos de obtención y manufactura, las decisiones solamente pueden ser consideradas coherentes si fuesen tomadas con base en el análisis crítico, en particular al histórico de los materiales a ser empleados en la producción industrial.

La importancia del concepto del Ciclo de Vida surge de dos conceptos básicos (Suppen, 2007):

- ⇒ Cuantificar un indicador agregado (como una unidad de medida ambiental), basado en los diferentes problemas ambientales y determinado por sus distintas variables (impactos). Esta cuantificación se realiza relacionando los impactos con los problemas ambientales. Para la interpretación de estos impactos (por ejemplo cantidades de energía, uso de materiales, emisiones) es importante establecer el efecto que tienen estos sobre los problemas.
- ⇒ Establecer prioridades ambientales, como base para la planificación del mejoramiento del desempeño ambiental. Basado en su enfoque sistémico, el ACV analiza todos los impactos durante todo el ciclo de vida de un producto, identificando las prioridades con base en las cuales se definen las estrategias preventivas del mejoramiento del desempeño ambiental.

El ACV permite una comparación total de todos los impactos ambientales del sistema de diferentes alternativas de productos que entregan una función o desempeño equivalente, de aquí se derivan las siguientes oportunidades del uso del ACV (Suppen, 2007):

- Los consumidores pueden seleccionar productos que son más “verdes” (productos que son menos dañinos al ambiente).
- Los diseñadores pueden diseñar productos o servicios de menor impacto ambiental.

La metodología del ACV, además de permitir un seguimiento sobre cada uno de los pasos del proceso, determina cuáles son los impactos más significativos, los cuantifica y les asigna un ecopuntaje para facilitar así una comparación de desempeño ambiental entre procesos similares.

Aplicar esta metodología en cualquier empresa trae una serie de ventajas que posteriormente pueden aprovecharse para el desarrollo de otras actividades empresariales, por ejemplo; favorece la adopción de patrones de consumo y producción sostenible, el ahorro de costes al subsanar deficiencias en el aprovechamiento de materias primas, energía, agua, etc.

Además proporciona información que puede ser útil en aspectos como: la introducción de innovaciones en el diseño de producto-servicio, es de gran utilidad para el ecodiseño de productos y servicios; para elaborar los criterios requeridos para la obtención de la etiqueta ecológica o el etiquetado de productos ecológicos; facilita la implantación de un Sistema de Gestión Ambiental (SGA). También permite que el Sistema de Gestión de los Recursos Humanos aplique una planificación de estrategias ambientales, y si ya las tiene, pues el ACV permite que las mejore.

En cuanto a los aspectos financieros, el ACV puede ser una ayuda útil para bajar los costos en la medida que el nuevo diseño y los nuevos procesos de fabricación, transporte y distribución, entre otros, promuevan una mayor eficiencia en la asignación y el empleo de materias primas, insumos y energía.

De igual modo, provee ventajas comparativas y competitivas al proporcionar todos los elementos de análisis a las empresas que más tarde deseen certificar sus productos bajo esquemas de sellos ambientales o etiquetas ecológicas (Ecoetiquetado). La misma *World Trade Organization*, plantea que cada vez son más las etiquetas ambientales que basan su análisis en el ACV.

El ACV no sólo es un instrumento para proteger el medio ambiente y conservar los recursos naturales, sino un instrumento empresarial para reducir costos y mejorar posiciones en el mercado.

Además de todas estas ventajas ya enumeradas, no se puede dejar de mencionar una muy importante que es la mejora de la eficacia en los procesos productivos, en los productos y en los servicios.

El ACV puede aplicarse según (Santa, 2006) en:

- Desarrollo de una nueva estrategia de negocio.
- Uso como herramienta para la toma de decisiones en la compra de productos ambientales.
- Diseño o mejora de un producto o proceso.
- Definición de un criterio de (Eco labelling) Etiqueta Ambiental (Tipo I y III).
- Comunicación sobre los aspectos ambientales de un producto.
- Rediseño de un servicio.

1.4 – Impacto Ambiental en la producción porcina

1.4.1 – Contexto Internacional

La producción animal intensiva como la de cerdos, aves de corral o ganado provoca impactos ambientales. Se debe buscar un adecuado reciclaje de nutrientes no retenidos en los productos

pecuarios y reducir las pérdidas por volatilización y lixiviación. Se debe optimizar el uso de los nutrientes dentro del sistema agropecuario, pero sin comprometer los rendimientos y calidad del producto. Con ello se previenen impactos, como la eutrofización de aguas y la pérdida de fertilidad de los suelos. Los impactos ambientales de la actividad porcina son en general: la contaminación del aire (malos olores), contaminación del suelo y de las aguas (por heces y orina). En las granjas se producen ruidos, alto consumo de agua y de energía. Otro aspecto a considerar es en el manejo de los cerdos muertos para evitar proliferación de roedores y aves de rapiña y los residuos de la matanza. El mal manejo de las excretas y de alimentación de los cerdos, puede generar malos olores que afectarán a las poblaciones vecinas y puede producir lixiviados que contaminan cuerpos de agua e incrementan los procesos de eutrofización. Una granja porcícola libera además nitrógeno a la atmósfera, lo que contribuye a la lluvia ácida (CNP+LH, 2009).

Residuos Sólidos

En la producción porcina la mayor cantidad de residuos sólidos está constituida por las excretas de los cerdos y en menor cuantía por animales muertos y placentas. Otros residuos que se pueden considerar son los generados por los comederos y bebederos, desechados por su mal estado, así como las jeringas y material veterinario utilizado durante la crianza. En efecto por cada 70 kg de peso vivo en granja se producen entre 4 y 5 kg de excretas al día. Durante la fase de engorde el promedio de producción de excretas (sólidas y líquidas) puede alcanzar una décima parte del peso vivo por día, lo que representa 1.36 kg de heces y 4.73 litros de orina por día. Se ha estimado que una hembra y sus cerdos producen 13 toneladas de excretas por año, con un contenido de 10% de materia seca.

Residuos Líquidos

La mayor producción de residuos líquidos se genera por la orina de los cerdos y por el agua de lavado de los corrales. El amoníaco proviene del nitrógeno excretado en la orina y en las heces.

Emisiones Atmosféricas

En la mayoría de las granjas porcinas se producen malos olores que afectan a las poblaciones aledañas. Esto se debe a la generación de los siguientes gases:

- Dióxido de carbono y metano (CO_2 y CH_4).
- El amoníaco (NH_3).
- El sulfuro de hidrógeno (SH_2) y el monóxido de carbono (CO).

El dióxido de carbono proviene principalmente de la respiración de los animales. El amoníaco, el metano y el sulfuro de hidrógeno de la acción de determinadas bacterias sobre las deposiciones de los animales. El monóxido de carbono puede originarse de fallos en la combustión cuando se tienen sistemas de calefacción.

Además de esos gases hay otras sustancias volátiles que contribuyen a incrementar los malos olores en las granjas porcinas. Se recomienda que el dióxido de carbono se mantenga por debajo del 2%, el metano debe mantenerse entre un 5-15%, el amoníaco no debe sobrepasar las 50 ppm y el sulfuro de hidrógeno y monóxido de carbono no deben sobrepasar las 20 ppm.

Producción de excretas y contaminación ambiental

Se han realizado varios cálculos para estimar la cantidad de excreta (heces + orina + agua) que se producen en una explotación porcina; a continuación se enumeran algunos de ellos: Pérez Espejo (1992) menciona que por cada 70 kg de peso vivo en granja, se producen entre 4 y 5 kg de excreta, por su parte Gadd (1973) menciona que el promedio de producción de excretas en engorda, puede ser un décimo del peso vivo por día (sólido y líquido), lo que representa 1.36 kg de heces y 4.73 l de orina por día en promedio desde el destete hasta el peso al sacrificio; Penz (2000) proporciona datos del volumen diario de excretas producidas por tipo de cerdo; Sweeten (1979) estima la cantidad anual producida por unidad cerda (lo que equivale a una hembra más los cerdos producidos por ella en un año), cantidad que representa 13 ton de excretas por año, con un contenido de 10% de materia seca. Así mismo, la producción de bióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4) contribuye al efecto invernadero mundial, aunque en menor escala que el CO_2 y CH_4 producidos por los rumiantes (Kirchgessner et al., 1990). Sin embargo, el principal problema ocasionado por las excretas es la contaminación química debida a la excreción de grandes cantidades de nitrógeno (en forma de nitratos), fósforo y potasio (Vanderholm, 1979; Peet-Scwering et al., 1999), estos últimos autores, estimaron que bajo condiciones comerciales de producción en Holanda el fósforo consumido es excretado en proporciones variables, ya que una cerda excreta alrededor del 75%, los lechones destetados el 38% y los cerdos de abasto el 63%, la vía de excreción del fósforo es principalmente fecal; en lo referente al nitrógeno la proporción excretada para las mismas categorías de animales fue de 76, 46 y 67% respectivamente y este es excretado principalmente vía urinaria (Mariscal, 2007).

1.4.2 – Contexto Nacional

En el año 1967 se comenzaron los primeros pasos del Programa Porcino en Cuba, completándose en los años posteriores el primer esquema de desarrollo, cruzamiento genético y se fueron creando las granjas de producción comercial. La década de los 80 marcó un fuerte desarrollo con 28 grandes unidades integrales de producción de ciclo completo con capacidad para albergar 20000 animales y producir al año 2200 t, también se desarrolló la construcción de granjas genéticas, multiplicadoras y 16 grandes cebaderos para 11000 animales cada uno, vinculados a la alimentación líquida obtenida de desechos alimentarios y mieles cañeras. La producción record de 102.4 mil t en el año 1989 se alcanza con 130 granjas recién construidas y equipadas, 900

camiones y rastras en explotación y el consumo de 1 940 000 t de alimentos de diferentes tipos, que incluían 352000 t de crema torula y miel B de la industria azucarera (Colectivo de Autores, 2008).

Algunas características de la producción porcina y de los sistemas productivos agropecuarios en general que estimulan la generación y vertimiento de residuos al ambiente (Reyes, 2010).

- Producción especializada con poca o nula integración. La existencia de producciones de una sola especie vegetal (monocultivos) o animal hace que la mayoría de los insumos necesarios en el proceso productivo sean importados y que los desechos producidos deban ser exportados al ambiente. Se estimula entonces la entrada y salida de recursos con poco o nulo reciclaje dentro del sistema.
- No hay reutilización de las aguas servidas por la falta de integración. Como consecuencia de esto anterior, los residuos líquidos y sólidos, en especial las excretas, no pueden ser usadas en actividades de fertilización y producción de energía, por tanto no se puede ver su verdadero valor.
- Pérdida de energía y nutrientes en el proceso. Los residuos que salen de la explotación poseen energía, materia orgánica y nutriente, entre otros recursos, que pueden ser utilizados y se pierden en el proceso. Estos recursos deben obtenerse en el mercado, lo que a su vez tiene implicaciones económicas.
- Se privilegia el rendimiento financiero en el corto plazo. La preocupación por los efectos ambientales negativos de la producción ha sido generalmente olvidados o relegados a un segundo plano. Recientemente ha crecido la conciencia hacia dichos efectos o simplemente éstos han sido impuestos mediante regulaciones ambientales. En este orden de ideas tradicionalmente lo más importante era la posibilidad de un rendimiento económico en el corto plazo.

En el caso de las producciones porcinas en particular, Chará (2007) señala que “estas son criticadas, por los impactos ambientales negativos que causan sobre las fuentes de agua, y como tal, son tal vez las producciones agropecuarias más vigiladas por las autoridades ambientales”.

Principales externalidades de la producción porcina:

- Contaminación del agua superficial y del subsuelo por el nitrógeno y fósforo contenido en las excretas.
- Deterioro de la calidad del aire por la generación de gases tóxicos, principalmente dióxido de carbono, (CO_2), amoníaco (NH_3), ácido sulfhídrico, (H_2S) y metano (CH_4), que afectan a los trabajadores, a las poblaciones vecinas y a los propios cerdos.
- Contaminación por metales pesados, sobre todo cobre y zinc, que el cerdo solo absorbe en un 5 y 15%, excretando el resto.

- Contaminación microbiológica en la aplicación de excretas a terrenos agrícolas y pérdida de biodiversidad por erosión genética.

Alternativa para disminuir el impacto ambiental de la actividad porcina

El biogás es un gas compuesto por alrededor de 60 % de gas metano (CH_4) y 40 % de bióxido de carbono (CO_2). Contiene mínimas cantidades de otros gases, entre ellos 1 % de ácido sulfhídrico (H_2S). Es un poco más liviano que el aire y posee una temperatura de inflamación de 700 °C, y su llama alcanza una temperatura de 870 °C. Con un contenido de metano mucho menor de 50 %, el biogás deja de ser inflamable. Su poder calorífico promedio es de 5 000 kcal. Un metro cúbico de biogás permite generar entre 1,3-1,6 kWh, que equivalen a medio litro de petróleo, aproximadamente. El biogás puede ser utilizado como cualquier otro combustible, tanto para la cocción de alimentos, en sustitución de la leña, el kerosene, el gas licuado, etc., como para el alumbrado, mediante lámparas adaptadas. Mezclas de biogás con aire, en una relación 1:20, forman un gas detonante altamente explosivo, lo cual permite que también sea empleado como combustible en motores de combustión interna adaptados.

El biogás es producido por bacterias que se encargan de descomponer el residual orgánico, a lo que se le denomina proceso de fermentación anaeróbica, ya que se produce en ausencia de oxígeno. Materiales no orgánicos, como metales, celulosas, vidrio, etc., no son digeridos o modificados durante el proceso de fermentación, de ahí que resulten inapropiados para la obtención de biogás (Chacón, 2006).

Composición química del biogás

ELEMENTO	%
Metano (CH_4)	50-70
Dióxido de carbono (CO_2)	30-50
Nitrógeno (N_2)	0,5-3
Ácido sulfhídrico (H_2S)	0,1-1

Beneficios que Aporta:

Una planta de biogás es una instalación estéticamente agradable que permite, con mínimos gastos de construcción y con una atención muy sencilla en su operación, lo siguiente:

- Tratar totalmente los desechos orgánicos o residuales contaminantes, por lo que se elimina su efecto perjudicial para la salud, los malos olores y la contaminación del entorno.
- Aprovechar el biogás producido para emplearlo en las necesidades energéticas en la cocción de alimentos, en el hogar o en comedores, y eliminar así el empleo de kerosene

(luz brillante), petróleo, leña o cualquier combustible que comúnmente se utilice y que pueda resultar deficitario e incómodo.

- Aprovechar el biogás en el alumbrado de viviendas o en instalaciones o locales que requieran iluminación nocturna, lo que sustituye el empleo de energía eléctrica u otro tipo de fuente energética.
- Aprovechar el biogás producido como combustible en equipos que posean motores de combustión. Recuperación inmediata del mejoramiento de las condiciones del medio ambiente, con un evidente beneficio ecológico.
- Incrementar en más de 25 % el rendimiento de las cosechas o huertos, con el empleo del material o lodo que se extrae del biodigestor (bioabono), después del proceso de fermentación y producción de biogás.
- Aprovechar el material extraído del biodigestor, o sea, el bioabono, como componente nutritivo importante para la alimentación de aves de corral, peces, ganado, etcétera.
- Lograr independencia como consumidor energético y de fertilizantes químicos, con una integración total de los recursos aprovechables, dentro del ciclo productivo y social.

Conclusiones Parciales

1. La incorporación de la gestión ambiental en los procesos productivos tiene el propósito de prevenir, reducir y finalmente eliminar los impactos negativos que estos procesos causan al medio ambiente, asegurando la protección y preservación de los recursos naturales sobre los cuáles se sustenta la producción.
2. El desarrollo sostenible es un objetivo clave en el diagnóstico del territorio que se valora para enfrentar el proceso de transformación, al proponer el uso más adecuado de los recursos en dependencia de su aptitud y alternativas para optimizar el uso del espacio.
3. La metodología de análisis de ciclo de vida sirve como herramienta para evaluar las cargas medioambientales de la producción porcina; proporcionando la información necesaria sobre aquellos recursos que son más contaminantes y que emisión poder contrarrestar.
4. La producción porcina genera un gran impacto ambiental con la emisión de gases a la atmósfera contribuye al efecto invernadero y al cambio climático.

Capítulo II



Capítulo 2 – “Parte Experimental”

En este capítulo se desarrolla la caracterización de la Empresa Porcina de Cienfuegos y se describe la metodología para evaluar el impacto ambiental del ciclo de vida de la producción porcina basada en las normas NC-ISO 14 040, NC-ISO 14 041, NC-ISO 14 042 y NC-ISO 14 049.

2.1 – Descripción del objeto de estudio

2.1.1 – Caracterización de la empresa porcina en Cienfuegos

La Empresa Porcina de Cienfuegos se encuentra ubicada en la finca “La Julia”, el Consejo Popular Paraíso, municipio de Cienfuegos, provincia de Cienfuegos, independiente y patrimonio propio, creada por la Resolución No.213 del 15 de abril de 1976, con personalidad jurídica independiente y perteneciente al Grupo de Producción Porcina Ministerio de la Agricultura, con carácter nacional.

La misión y la visión de la empresa están declaradas de la siguiente forma:

MISIÓN: Producir y Comercializar carne de cerdo para los destinos planificados y contribuir a la sustitución de importaciones así como la producción de alimento con destino animal.

VISIÓN: Lideramos la producción y comercialización de carne de cerdo en el territorio con un consejo de dirección estable y preparado, trabajadores y productores motivados y capacitados. Logramos alcanzar las producciones previstas, siendo eficientes, productiva y económicamente.

Políticas

1. Prevalencia de la aplicación de la ciencia y la innovación tecnológica para la preservación de los recursos naturales y el medio ambiente con prioridad en la transferencia de tecnología.
2. Prioridad en la elaboración de proyectos de innovación tecnológica encaminados a la búsqueda de tecnologías limpias y/o soluciones ambientales, sustitución de importaciones e incremento de exportaciones.
3. Prioridad en la creatividad para llevar a cabo la introducción del resultado en la práctica social.
4. Prevalencia de la gestión del conocimiento en los programas de formación y capacitación de los talentos humanos en el territorio.
5. Prioridad por el control eficiente del presupuesto asignado a la actividad científica.
6. Prioridad para la utilización de las bases científicas en el ordenamiento económico, ambiental y socio-cultural del territorio.

2.1.2 – Macrolocalización del proyecto

La Empresa Porcina de Cienfuegos se rige a partir de las indicaciones y recomendaciones del Grupo Porcino Nacional y su Instituto de Investigaciones y su misión es ofertar carne de cerdo de alta calidad a las industrias cárnicas del Ministerio de la Industria Alimenticia (MINAL).

Su atención en sistemas de dirección y trabajo con los cuadros, utilizan la dirección por objetivos, puestos claves y las tareas para poder garantizar el cumplimiento de los mismos, estos objetivos son revisados mensualmente y todos los cuadros son evaluados por el cumplimiento de estos objetivos. La misma es productora de carne de cerdo, superando estrictos controles de calidad antes de su salida al mercado nacional y al turismo. Además es productora de piensos, que destina a satisfacer las necesidades de sus unidades de crías y multiplicación y los convenios con productores individuales. Se trabaja en la preparación de nuestros cuadros con capacitación permanente con rotación por la base productiva, la auto preparación a través del estudio de documentos orientados.

El Nivel de Escolaridad de los trabajadores está compuesto por:

Nivel Superior: 69

Técnicos Medios: 229

Obreros Calificados: 104

Otro Nivel de Escolaridad: 431

El capital humano de la Empresa Porcina de Cienfuegos es el siguiente:

La cifra total de trabajadores de la empresa alcanza de 833 (ver Figura 2.1):

- Dirigentes 107, que representa el 13 %
- Administrativo 17, que representa el 2 %
- Técnicos 145, que representa el 17 %
- Servicios 205, que representa el 25 %
- Obreros 359, que representan el 43 %

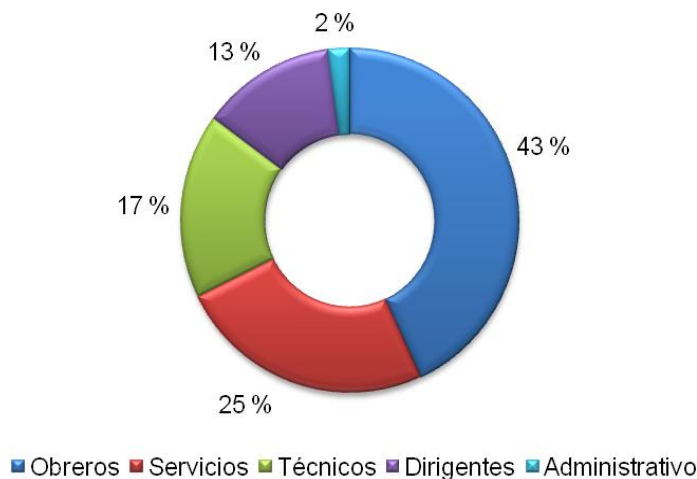


Figura 2.1 Diagrama representativo del Capital Humano de la Empresa Porcina de Cienfuegos.

La misma está conformada por la infraestructura administrativa y de aseguramiento a la producción, con una distancia media a sus unidades productivas de 20 km (ver Anexo 6).

2.1.3 – Microlocalización del proyecto

La empresa cuenta con siete productoras de carne de cerdo. La masa porcina de la empresa se encuentra distribuida en los municipios (ver Figura 2.2).

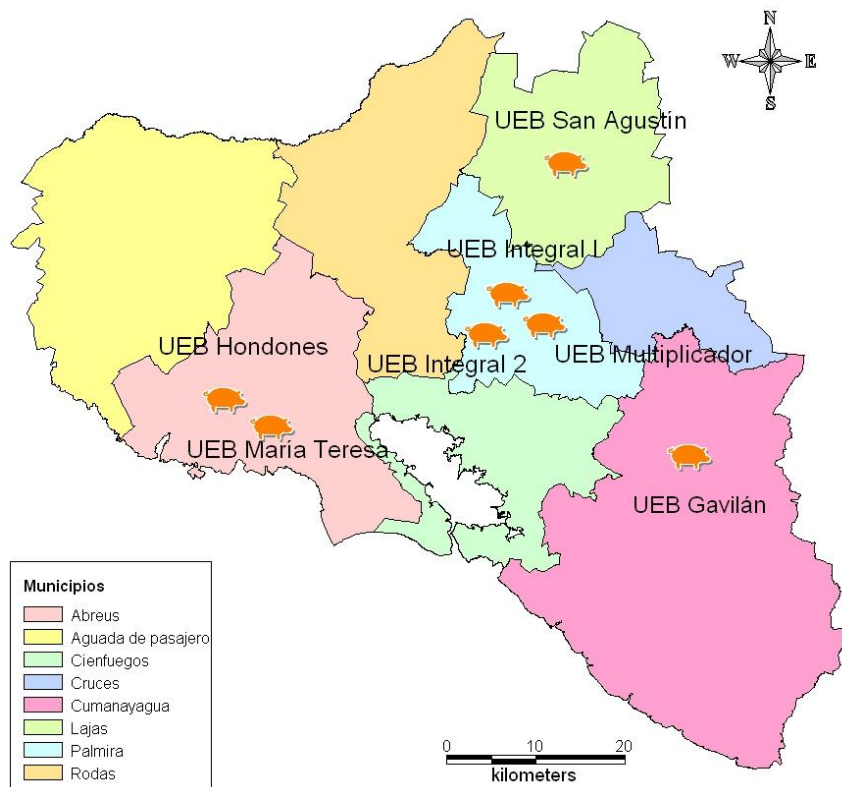


Figura 2.2 Representación de las unidades porcinas.

2.1.4 – Descripción de las unidades

Las unidades porcinas entre ellas Integral I, Integral II y Multiplicador cuenta con un área de 74.82 ha (10400 m²), se encuentran ubicados en el consejo popular Palmira Sur en el Municipio de Palmira. Los mismos se comunican por viales internos con una distancia media entre unidades de 400 m lineales.

El nivel de escolaridad de las tres unidades se puede visualizar en el siguiente gráfico (ver Figura 2.3):

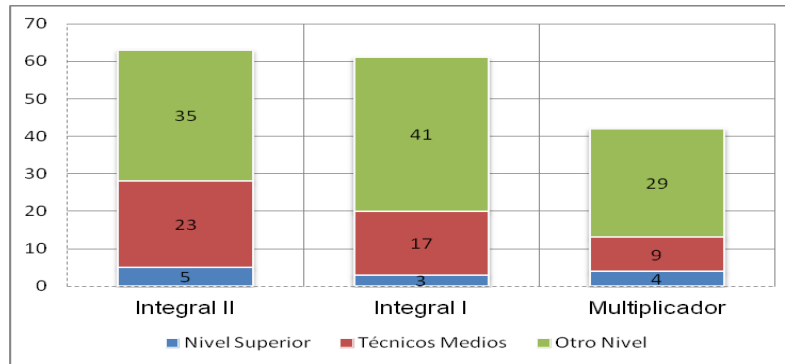


Figura 2.3 Gráfico representativo del Total de Trabajadores en las Unidades Porcina de Palmira.

Caracterización de la Unidad Integral No. I:

Misión: Producir 16112 precebas, entregar 654 atas terminadas con un peso promedio de más de 100kg para el cumplimiento de la política de auto reemplazo.

Visión: Sobrecumplir los indicadores económicos productivos. Alcanzar y mantener la categoría de excelencia. Tener a los trabajadores motivados para un mayor rendimiento en la producción.

Esta unidad está conformada de la forma siguiente: 8 naves de reproducción, 6 naves de maternidad, 12 naves de precebas, 24 naves de ceba, 1 cuarentena, 1 almacén de alimento animal, así como la infraestructura administrativa.

El sistema de tratamiento residual está compuesto por:

- 1 Laguna anaeróbica o trampa de sólidos
- 2 Laguna facultativa
- 1 Laguna aeróbica

Además cuenta para el tratamiento a los animales muertos de un sistema de fosas sépticas.

Caracterización de la Unidad Integral No. II:

Misión: Producir 9787 precebas terminada 5220 precebas al destete para la venta de convenios particulares y estatales utilizando como eslabón fundamental el sector cooperativo campesino.

Visión: Dar continuidad a una UEB perfeccionada declarada de excelencia, protector del medio ambiente, declarada protegida. Eficiente en su gestión económica, sostenible en sus producciones con disciplina y la preparación del personal.

Esta unidad está conformada de la forma siguiente: 8 naves de reproducción, 6 naves de maternidad, 12 naves de precebas, 24 naves de ceba, 1 cuarentena, 1 almacén de alimento animal, así como la infraestructura administrativa.

El sistema de tratamiento residual está compuesto por:

- 2 Laguna anaeróbica o trampa de sólidos.
- 8 lechos de secado
- 1 Laguna facultativa
- 1 Laguna aeróbica

Además cuenta para el tratamiento a los animales muertos de un sistema de fosas sépticas.

Caracterización de la Unidad Multiplicador

Misión: Producir 5893 precebas para la venta a convenios y producir 2876 crías al destete para la venta a convenios.

Visión: Somos una unidad de categoría de excelencia con los planes de producción sobre cumplidos con una entrega de 5893 precebas y 2876 crías al destete con eficiencia y con trabajadores motivados para dar su aporte a la producción bajo los principios de la legalidad socialista, con una masa porcina sana y en la máxima protección del Medio Ambiente.

Esta unidad conformada de la forma siguiente: 4 naves de reproducción, 3 naves de maternidad, 6 naves de precebas y 1 fosa Séptica también consta de un almacén central que están distribuidos por piensos, medicamentos, víveres.

El sistema de tratamiento residual está compuesto por:

- 2 Laguna anaeróbica o trampa de sólidos.
- 1Laguna facultativa
- 1 Laguna aeróbica

Además cuenta para el tratamiento a los animales muertos de un sistema de fosas sépticas.

2.2 – Justificación del estudio

En el municipio de Palmira se encuentran tres de las instalaciones porcinas más importantes de la provincia, con el mayor número de animales: Integral I, Integral II y el Multiplicador. El Multiplicador cuenta con 13 naves de ellas 4 son de reproducción, 3 de maternidad y 6 de preceba, con un total de 1933 animales como promedio en el mes, siendo esta la unidad más pequeña. La Integral I y II tienen 26 naves cada una, de ellas 8 son de reproducción, 6 de maternidad y 12 de preceba, con un promedio mensual de 4948 y 3966 animales respectivamente. Debido a su alta concentración de materia orgánica y los grandes volúmenes de agua que se manipulan, estas instalaciones son un foco contaminante que afecta las aguas terrestres y marinas; siendo los mayores

contaminadores por materia orgánica de la Cuenca Salado, que desemboca en la bahía cienfueguera. Este impacto ambiental no está cuantificado ni están identificadas las categorías de impacto y de daño que están siendo afectadas. Así lo demuestran las consideraciones siguientes:

Consideraciones, Indicadores y normas de consumo utilizados:

1. Se tomó como referencia para el cálculo del gasto total generado, la norma de consumo de 25 litros animal/día para animales de 90kg de peso, según el Manual de Procedimientos Técnicos para la Crianza Porcina/2008.
2. Según el libro Biogás, de la Comisión Nacional de Energía/1992, un cerdo de 50kg de peso excreta 2.25kg de excreta fresca/día.
3. El volumen de gas que se produce es el 30% del volumen del digestor de biogás.
4. Densidad igual a 1.0 t/ m³ (aproximada de la excreta fresca con 97% de humedad).
5. Una persona adulta consume 0.23-0.30 m³ biogás/día.
6. Según Metodología para la determinación aproximada de la carga contaminante, editada por el CITMA, un cerdo de 100kg genera 0.968kg de DBO₅/día.

La producción porcina es un proceso intensamente complejo donde participa toda una serie de factores fisiológico, que en su interacción dan como resultado final la eficiencia del proceso reproductivo.

Estos procesos tienen una gran incidencia sobre el medio ambiente ya que existen salidas de residuales y altos consumo de energía, agua y materias primas.

En cada etapa del proceso de la reproducción porcina están identificadas las fuentes de contaminación ambiental, las cuales se describen a continuación.

En las etapas de Gestación, Maternidad, Desarrollo-Crecimiento y Engorde se les añaden a las naves desinfectantes de origen químico para eliminar las bacterias a los animales ya que se suministran medicamentos para su salud animal.

2.3 – Procedimiento de Análisis de Ciclo de Vida

De acuerdo con la metodología propuesta por la normativa NC- ISO 14040,1999 el ACV puede dividirse en cuatro fases: objetivos y alcance del estudio, análisis del inventario, análisis del impacto e interpretación.

En la Figura 2.4 se ilustran las conexiones entre estos cuatro pasos y se puede reconocer que se trata de un proceso iterativo, el cual permite incrementar el nivel de detalle en sucesivas iteraciones. A continuación se describe cada una de las etapas básicas para el desarrollo de la

herramienta de ACV según se muestra en las normas NC-ISO 14 040, NC-ISO 14 041, NC-ISO 14 042 y NC-ISO 14 043.

2.3.1 – Etapa 1: Definición de los objetivos y alcance

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

A) Definir el objetivo del estudio.

El objetivo de un estudio de ACV debe indicar la aplicación pretendida, las razones para realizar el estudio y el destinatario previsto, es decir, a quién se van a comunicar los resultados del estudio.

En la definición del objetivo deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

- La aplicación y las audiencias proyectadas se describen en forma clara.
- 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 sólo suministrar información?, etc.

B) El alcance debe estar suficientemente bien definido para asegurar que la amplitud, profundidad y detalle del estudio son compatibles y suficientes para alcanzar el objetivo del mismo.

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.

Definir función y unidad funcional

La unidad funcional define la cuantificación de estas funciones identificadas, debe ser consistente con el objetivo y alcance del estudio.

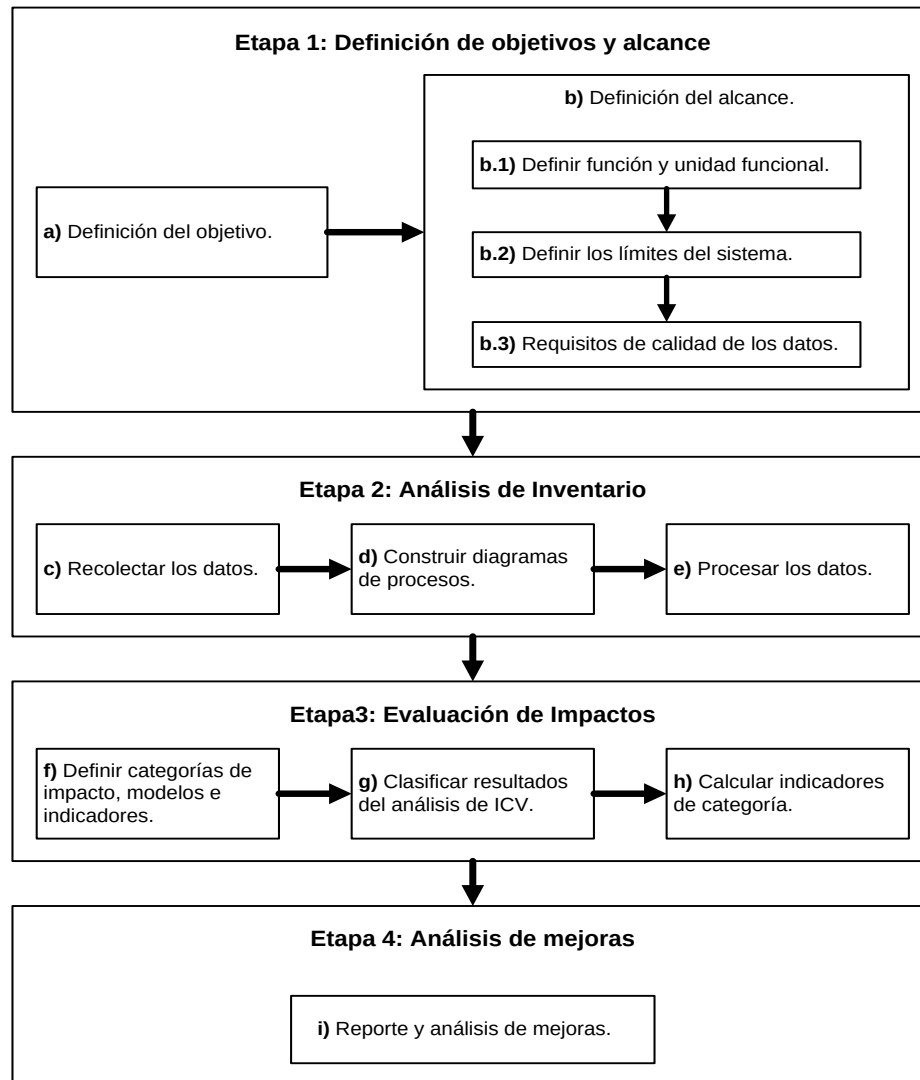


Figura 2.4 – Etapas de la metodología ACV. Fuente: (Díaz, 2009)

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

La unidad funcional se define a partir de las funciones que cumple el producto. Para una definición correcta, se siguen los siguientes pasos:

- 1) Identificación de las funciones del producto.
- 2) Selección de una función.

- 3) Determinación de la unidad funcional.
- 4) Identificación del desarrollo del producto.
- 5) Determinación del flujo de referencia.

Para definir la unidad funcional se deben tomar en cuenta aspectos como, la eficiencia del producto, la durabilidad del producto, y el estándar de calidad de desempeño. El carácter descriptivo de las respuestas a estas cuestiones representa un importante paso documental. En el informe se definen compromisos y responsabilidades para garantizar el empleo ético de los resultados, como también los niveles de accesibilidad de estos resultados.

Definir los límites del sistema.

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

Varios factores determinan los límites del sistema, incluyendo la aplicación prevista del estudio, las hipótesis planteadas, los criterios de exclusión, los datos y limitaciones económicas y el destinatario previsto. La selección de las entradas y salidas, el nivel de agregación dentro de una categoría de datos y la modelación del sistema deben ser consistentes con el objetivo del estudio. El sistema debe modelarse de modo que las entradas y salidas en sus límites sean flujos elementales. Los criterios usados para establecer los límites del sistema deben identificarse y justificarse en la fase de alcance del estudio.

Requisitos de calidad de los datos

Las descripciones de la calidad de los datos son importantes para comprender la fiabilidad de los resultados del estudio y para interpretar apropiadamente el resultado del estudio. Los requisitos de calidad de los datos deben ser especificados a fin de respetar el objetivo y alcance del estudio.

Se recomienda que la calidad de los datos sea caracterizada por aspectos cuantitativos y cualitativos, así como por métodos utilizados para captar e integrar esos datos.

También es recomendable que los datos sean de sitios específicos o los promedios representativos sean utilizados para los procesos unitarios que constituyen la mayor parte de los flujos de masa y de energía en los sistemas. Es conveniente igualmente utilizar datos de sitios específicos para los procesos unitarios que son considerados por tener emisiones vinculadas al medio ambiente.

2.3.2 – Etapa 2: Análisis de Inventario

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

Los datos cualitativos y cuantitativos para su consideración en el inventario deben obtenerse para cada proceso unitario incluido dentro de los límites del sistema. Los procedimientos utilizados para la obtención de los datos pueden variar dependiendo del alcance, proceso unitario o aplicación del estudio. Las limitaciones prácticas en la obtención de los datos deben considerarse en el alcance y reflejarse en el informe.

C) Recolectar los datos

La compilación de los datos exige un conocimiento completo de cada proceso unitario. Para evitar los conteos dobles o los olvidos, la descripción de cada proceso unitario debe ser registrada. Esto implica una descripción cuantitativa y cualitativa de las entradas y de las salidas necesarias para determinar el inicio o el fin del proceso unitario, así como la función del proceso unitario. Cuando el proceso unitario tiene entradas múltiples (por ejemplo, entradas múltiples de efluentes hacia una instalación de tratamiento de agua) o salidas múltiples, los datos que conciernen a los procedimientos de asignación deben ser documentadas y comunicadas. Las entradas y salidas de energía deben ser cuantificadas en unidades de energía. En su caso, la masa o el volumen de combustible deben igualmente ser cuantificados en la medida de lo posible.

Para los datos compilados de documentos publicados que son significativos para las conclusiones del estudio, es necesario hacer referencia a los documentos publicados que dan precisiones sobre el procedimiento de compilación de los datos.

D) Construir los diagramas de procesos

Partiendo del principio que los procesos fluyen siempre a otros procesos o al entorno ambiental, trazar un diagrama de flujo inicial del proceso, permite que de forma gráfica se aprecien los flujos del sistema con todas sus entradas y salidas más relevantes, reuniéndose, de este modo, los datos necesarios. Se recomienda describir inicialmente cada proceso unitario para definir:

- Dónde comienza el proceso unitario, en términos de recepción de las materias primas o de los productos intermedios;

- La naturaleza de las transformaciones y operaciones que ocurren como parte del proceso unitario; y
- Dónde termina el proceso unitario, en términos del destino de los productos intermedios y finales.

Es conveniente decidir cuáles entradas y salidas de datos son trazadas a otros sistemas producto, incluyendo las decisiones acerca de las asignaciones. Se recomienda describir el sistema con suficiente detalle y claridad para permitir a otro realizador reproducir el inventario. Las principales categorías de entradas y de salidas cuantificadas para cada proceso unitario dentro de los límites del sistema son:

- Entradas de energía, entradas de materias primas, entradas auxiliares, otras entradas físicas;
- Productos;
- Emisiones al aire, emisiones al agua, emisiones al suelo, otros aspectos ambientales.

Es conveniente considerar estas categorías de datos cuando se decide aquellas que serán utilizadas en el estudio además de detallar ampliamente las categorías de datos individuales para satisfacer el objetivo del estudio.

Las entradas y salidas de energía deben ser tratadas como cualquier otra entrada o salida de un ACV.

Las entradas y salidas de energía comprenden varios tipos: las entradas y salidas vinculadas a la producción y a la entrega de combustibles, energía de alimentación y energía de procesos utilizada dentro del sistema modelado.

Las emisiones al aire, al agua o al suelo representan a menudo descargas desde fuentes puntuales o difusas, después de pasar a través de dispositivos de control de emisiones. Esta categoría debe comprender, cuando son significativas, las emisiones fugitivas. Pueden ser utilizados parámetros indicadores, por ejemplo, demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

E) Procesar los datos.

Cuando se concluye la compilación de los datos, son necesarios procedimientos de cálculo con el fin de producir los resultados del inventario del modelo definido para cada proceso unitario y para la unidad funcional del sistema producto a modelar. A continuación se dan algunas consideraciones importantes sobre los procedimientos de cálculo:

- Los procedimientos de asignación son necesarios cuando se trabaja con sistemas que impliquen varios productos (ej. productos múltiples de la refinación de petróleo). Los flujos de materia y

energía, así como las emisiones al ambiente asociadas deben asignarse a los diferentes productos de acuerdo con procedimientos claramente establecidos, que deben ser documentados y justificados.

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

2.3.3 – Etapa 3: 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.

Como puede observarse en la Figura 2.5, propuesta por la NC-ISO 14 042:2001, en esta fase de la metodología del ACV se identifica como obligatorio, cumplir los tres pasos siguientes: selección y definición de las categorías de impacto, incluyendo los indicadores de categoría y modelos de valoración utilizados; clasificación de los resultados del análisis del inventario conocido como la fase de clasificación y el cálculo de los indicadores de categoría, conociéndose este paso como caracterización. Todos estos elementos se describen de forma sintética a continuación, a la vez que se muestran algunos modelos utilizados para el cálculo de los indicadores de categorías e impacto.

Así mismo, 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, indicadores de la categoría y modelos de estimación.

Estos efectos serán seleccionados y definidos teniendo en cuenta el potencial impacto que pueda generar el sistema o producto en estudio, de hecho, éstos son los objetivos y alcance del ACV.

Las categorías de impactos medioambientales se agrupan según parámetros asociados a los flujos de entrada y salida del sistema. Estas categorías, a su vez, tendrán distintos ámbitos de actuación: global, regional o local.

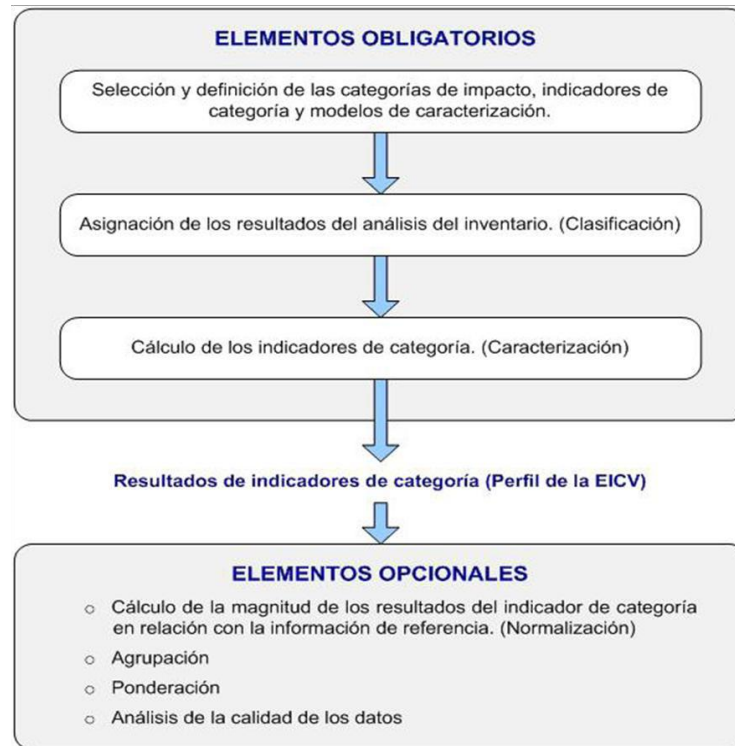


Figura 2.5 – Elementos que componen la valoración del impacto del ACV.

Fuente: (NC ISO 14 042: 2001)

G) Clasificar resultados del análisis del inventario.

El procedimiento consiste en identificar y correlacionar todas las cargas ambientales a una o más categorías de impactos potenciales, es un procedimiento de rutina que se asigna a la totalidad de las cargas ambientales del sistema analizado.

La fase puede incluir, entre otros, elementos como:

- Asignación de los datos del inventario a categorías de impacto (clasificación);
- Modelación de los datos del inventario dentro de categorías de impacto (caracterización);
- Posible agregación de los resultados en casos concretos y sólo cuando proceda (valoración).

H) Calcular los indicadores de categoría.

El último paso a seguir se conoce como Caracterización, el cual se lleva a cabo mediante la aplicación de los factores de caracterización a fin de establecer el perfil medioambiental del sistema estudiado. Según la metodología, después de clasificada o asignada todas las cargas ambientales del sistema a determinadas categorías de impacto, seleccionadas según los objetivos del estudio, será necesario realizar la cuantificación de la referida categoría. Así, asignados (fase

de clasificación del ACV) las sustancias contaminantes a un determinado modelo de categoría de impacto, todas las sustancias que contribuyen a esta categoría serán reducidas a una única sustancia de referencia y que servirá de base de agregación de todos los resultados en esta categoría de impacto.

En consecuencia, el resultado de la caracterización es la expresión de contribución a determinada categoría de impacto que, basándose en la cantidad de emisiones de sustancias equivalentes para cada categoría de impacto, miden la magnitud del impacto a través del producto entre la carga ambiental y el factor de caracterización correspondiente en aquella categoría de impacto que se desea o fue escogida para evaluar.

2.3.3.1 – Métodos para evaluar el impacto ambiental

El método de evaluación que se utilizó fue el Impact 2002+, con el empleo del software SimaPro v. 7.1, metodología originalmente desarrollada en el Instituto Suizo Federal de Tecnología, que propone una implementación factible de una aproximación combinada de categorías de punto intermedio y daños, vincula todos los tipos de resultados del inventario de ciclo de vida con cuatro daños de categorías (salud humana, calidad del ecosistema, cambio climático y recursos) a través de 14 puntos intermedios: efectos respiratorios, toxicidad humana, oxidación fotoquímica, deterioro de la capa de ozono, ecotoxicidad acuática y terrestre, acidificación, eutrofización, uso de la tierra, calentamiento global, extracción de minerales, energías no renovables, radiaciones ionizantes. Las categorías fueron relacionadas como se muestra en la Figura 2.6.

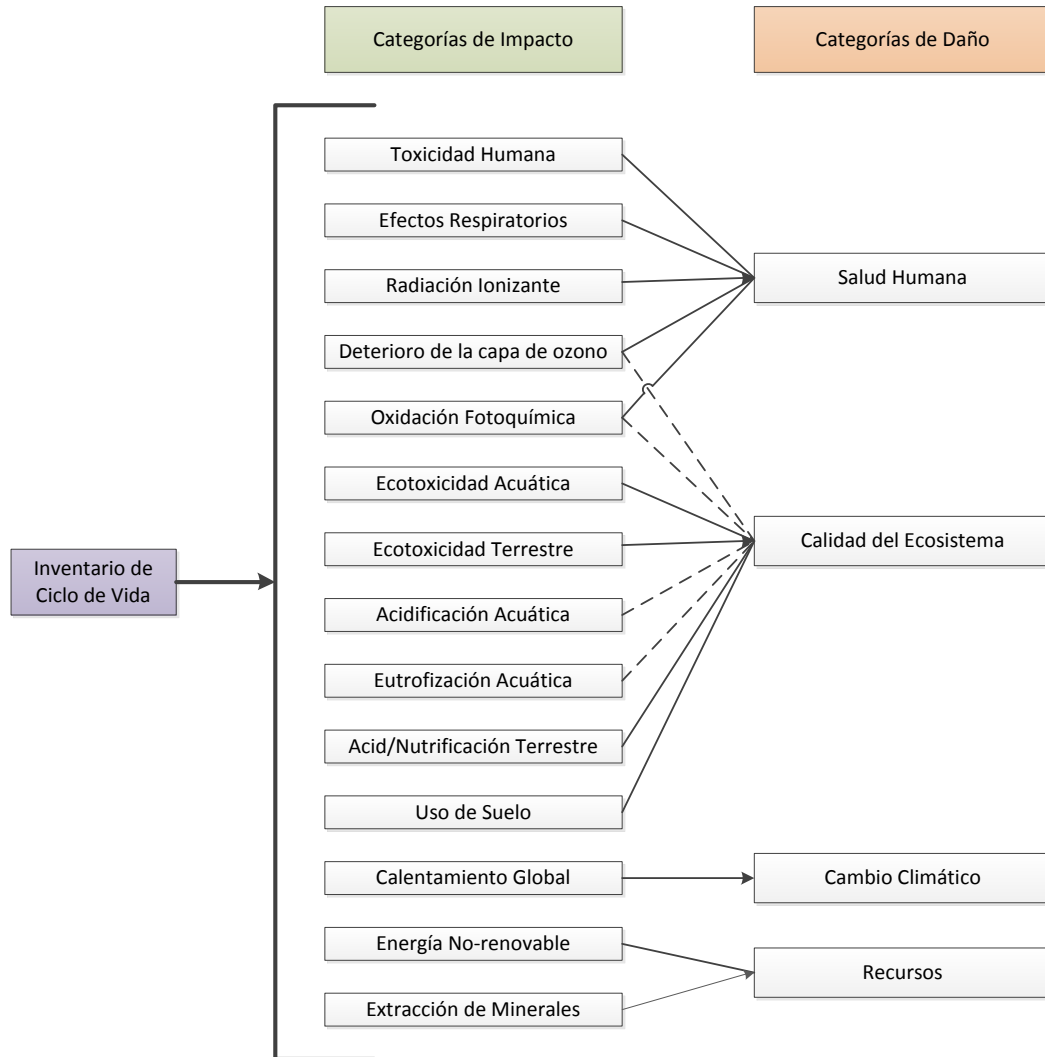


Figura 2.6.Relación de categorías de impacto con categorías de daño.

Fuente: (Jolliet, 2003)

Caracterización

Los factores de caracterización de daños pueden ser obtenidos al multiplicar el punto intermedio potencial de caracterización con los factores de caracterización de daño de las sustancias de referencia.

Para la caracterización se utilizó la siguiente fórmula:

$$S_j = \sum_i Q_{ji} m_i$$

Donde:

S_j : Resultado del indicador

j : Categoría de impacto

m_i : Tamaño de la intervención de tipo i (masa de una sustancia emitida)

Q_{ji} : Factor de caracterización que relaciona la intervención i con la categoría j .

En la tabla 2.1 se muestran las sustancias de referencia que fueron utilizadas para el cálculo de las categorías de impacto, y en la tabla 2.2 se muestra la unidad de medida de las categorías de daño.

Tabla 2.1. Sustancias de referencia de las categorías de impacto (Jolliete, 2003).

Categorías de Impacto	Sustancia de referencia
Efectos Carcinogénicos	Kgeqcloroetileno en aire
Efectos No-Carcinogénicos	
Respiración de Sustancias Inorgánicas	kgeq PM2.5 en aire
Radiación Ionizante	Bgeq carbono-14 en aire
Deterioro de la Capa de Ozono	kgeq CFC-11 en aire
Respiración de Sustancias Orgánicas	kgeq etileno en aire
Eco-toxicidad Acuática	kgeq trietileno glicol en agua
Eco-toxicidad Terrestre	
Acidificación y Nutricación Terrestre	kgeq SO ₂ en aire
Acidificación Acuática	
Eutrofización Acuática	kgeq PO ₄ en agua
Uso del Suelo	m ² eq suelo ocupado al año
Calentamiento Global	kgeq CO ₂ en aire
Energías No-Renovables	MJ total energía no-renovable primaria
Extracción de Minerales	MJ energía adicional

Tabla 2.2. Unidad de Medida de las categorías de daño (Jolliet, 2003).

Categorías de Daño	Unidad de Medida
Salud Humana	DALY (años de vida sometidos a una discapacidad)
Calidad del Ecosistema	PDF * m ² * yr (fracción de especies afectadas potencialmente)
CambioClimático	kgeq CO ₂ en aire
Recursos	MJ

Normalización

La idea de normalización es analizar la parte respectiva de cada impacto al daño total por aplicar factores de normalización a puntos intermedios o clases de impactos de daños para facilitar la interpretación. El factor normalizado es determinado por el radio de impacto por unidad de emisiones dividido por el total de impactos de todas las sustancias de la categoría específica para la cual existen factores de caracterización, por persona por año. La unidad de todos los factores de punto intermedio o daño normalizado es por lo tanto el número de personas equivalentes afectadas durante un año por unidad de emisión.

La fórmula general para la normalización es:

$$N = \frac{RI_{cat}}{VR_{cat}}$$

Donde:

RI_{cat} : Resultado obtenido de cada categoría de año

VR_{cat} : Valor de referencia

Ponderación

En la ponderación se emplearon los valores de los eco-indicadores, y se tomó como base el punto Ecoindicador (Pt), donde el valor de 1 Pt representa la centésima parte de la carga ambiental anual de un ciudadano medio.

2.3.3.2 – Método de cálculo de la huella ecológica

Para calcular la huella ecológica, es el método insumo-producto y aproximación de los componentes. En el proceso de hallar la huella ecológica es necesario tener en cuenta el comportamiento de dos variables: la productividad y el consumo, cuya relación puede obtenerse de forma directa en el caso de los recursos bióticos.

De igual forma es pertinente aclarar que la productividad utilizada es la global y no la local, por cuanto los territorios no sólo utilizan productos de origen local sino que consumen productos de diferentes regiones o países.

Se utiliza para medir la huella ecológica corporativa de las empresas, es necesario realizar una hoja de cálculo donde se evalúa la actividad empresarial en términos de consumo de cinco grupos representativos del capital natural. Estos grupos representan el consumo total de la empresa requerido para la producción de los distintos bienes y servicios. Los grupos son los siguientes: consumo energético, uso del suelo, recursos agropecuarios, recursos forestales y la huella ecológica total o total de terreno consumido y la contra-huella o terreno disponible.

Dentro de estas categorías disponibles de una hoja de cálculo van incluidos el consumo de agua, energía, insumos, tierra, superficies construido, productos agropecuarios como vegetales y cultivos. Todo esto es sumado y multiplicado por un factor de acuerdo con la categoría a la cual pertenecen y de allí se saca la totalidad de huella que tiene la compañía con respecto a la producción de determinado bien o servicio.

Con la huella ecológica como indicador de sostenibilidad de las empresas es posible que el consumidor cambie sus tendencias hacia cierta clase de productos que tienen procesos de producción más sostenibles; pero algunas veces para mantener las políticas ambientales (ver Anexo 7).

2.3.3.3 – Análisis de criterios de expertos con el método Delphi

Los pasos que se llevarán a cabo para garantizar la calidad de los resultados, para lanzar y analizar la Delphi deberían ser los siguientes:

Fase 1: Formulación del problema

En este paso se definen los elementos básicos del trabajo, el objetivo a alcanzar, la situación actual y los componentes o elementos necesarios para llevar a cabo el trabajo.

Fase 2: Elección de expertos

Se identifican como expertos aquellos que otros creen que tienen conocimiento suficiente para serlo. Los criterios se basan en la relevancia de sus trabajos, en la posición que ocupan, en sus opiniones, creatividad, disposición a participar, experiencia científica y profesional en el tema, capacidad de análisis y pensamiento lógico y espíritu de colectivismo.

Para la selección de los expertos se determina la cantidad (n) y la correspondencia de los aspirantes atendiendo a los criterios de idoneidad, competencia y creatividad, disposición a participar, su capacidad de análisis y su espíritu autocrítico.

El número de expertos se calcula por la siguiente expresión:

$$n = \frac{p(1-p)K}{i^2}$$

$1-\alpha$	K
99%	6.6564
95%	3.8416
90%	2.6896

Donde:

K: constante que depende del nivel de significación estadística ($1-\alpha$).

p: proporción de error que se comete al hacer estimaciones del problema con n expertos.

i: precisión del experimento. (≤ 12)

Fase 3: Elaboración y lanzamiento de los cuestionarios (en paralelo con la fase 2)

Los cuestionarios se elaborarán de manera que faciliten, en la medida en que una investigación de estas características lo permite, la respuesta por parte de los consultados.

Fase 4: Desarrollo práctico y explotación de resultados

Para realizar el procesamiento de la información se debe tener en cuenta el tipo de pregunta, ya sea cuantitativa o cualitativa. En el procesamiento por el tipo cuantitativo es posible utilizar valores que caracterizan la variable susceptible de definir a partir de lo que está midiendo. Las variables definidas de esta forma tendrán un determinado recorrido, lo cual posibilita la fácil utilización de procedimientos estadísticos.

Para medir el grado de concordancia de los expertos, para valores de $K \geq 7$, se calcula el coeficiente de Kendall:

$$W = \frac{12 \sum \Delta^2}{n^2(K^3 - K) - n \sum T_i}$$

Si de todas las evaluaciones realizadas por el experto i son diferentes $T_i = 0$ y $W \in (0,1)$

Si $W = 0$ No hay comunidad de preferencia.

Si $W = 1$ Existe concordancia perfecta.

La hipótesis de que los expertos tienen o no comunidad de preferencia puede probarse si $K \geq 7$ calculando:

$$X^2_{\text{calculado}} = n(K-1)W$$

Se plantean las hipótesis:

H_0 : No hay comunidad de preferencia entre los expertos.

H_1 : Existe comunidad de preferencia entre los expertos.

Para el procesamiento y análisis de la información contenida en los cuestionarios se utilizó el paquete de programa estadístico SPSS en su versión 15.0.

2.3.3.4 – Análisis de Modos y Efectos de Fallos

En este estudio se emplea el procedimiento disciplinado destinado a reconocer y evaluar el fallo potencial de un producto o proceso y sus efectos (FMEA), identifica la acción que podría eliminar o reducir la probabilidad de ocurrencia de un fallo potencial, es una confiabilidad que ha alcanzado con la prueba el desafío de diseñar en calidad en temprano ciclo de desarrollo.

Procedimiento de FMEA

Los pasos básicos son:

- ✓ Identificar los modos de fallo. Un modo de fallo se define como la manera en la cual un componente, un subsistema, un sistema, un proceso, un etc. podrían potencialmente no poder resolver el intento de cálculo.
- ✓ Establecer una graduación numérica para la severidad del efecto. Una escala estándar de la industria común utiliza 1 para no representar ningún efecto y 10 para indicar muy severo con la falta que afecta la operación y la seguridad de sistema sin la advertencia.
- ✓ Identificar las causas para cada modo de fallo. Una causa de la falta se define como debilidad del diseño que pueda dar lugar a una falta. Las causas potenciales para cada modo de fallo deben ser identificadas y ser documentadas.
- ✓ Incorporar el factor de la probabilidad. Un peso numérico se debe asignar a cada causa que indica cómo esa causa está probablemente (probabilidad de la causa que ocurre). Una escala estándar de la industria común utiliza 1 para representar no probablemente y 10 para indicar inevitable.
- ✓ Calcular el *Risk Priority Numbers* (RPN). El RPN es un producto matemático de los grados numéricos de la severidad, de la probabilidad y de la detección. $RPN = (Severidad) \times (Probabilidad) \times (Detección)$. El RPN se utiliza para dar prioridad a artículos el planeamiento o la acción adicional de la calidad.
- ✓ Determinar Acciones Recomendadas (Determine Recommended Action(s)) para tratar las faltas potenciales que tiene un RPN alto.

2.3.4 – Etapa 4: 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 incertidumbres, para que el conjunto de informaciones posibilite generar un informe con las conclusiones y recomendaciones, que pueda dar respuestas a las cuestiones que anticipadamente fueron definidas en los objetivos y alcance del estudio.

La interpretación es la fase de un ACV en la que se combinan los resultados del análisis del inventario con la evaluación del impacto, o en el caso de estudios de análisis del inventario del ciclo de vida, los resultados del análisis del inventario solamente, de acuerdo con el objetivo y alcance definidos, para llegar a conclusiones y recomendaciones.

Los resultados de esta interpretación pueden adquirir la forma de conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones, de forma 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.

En el reporte de la investigación deben definirse:

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

Conclusiones Parciales

1. Se caracteriza la Empresa Porcina de Cienfuegos, y las unidades Integral I, Integral II y Multiplicador determinándose que la misma cumplen con su misión y visión, siendo unidades líderes de la producción porcina.
2. Los problemas ambientales que enfrenta el ciclo de vida de la producción porcina están asociados a la generación de residuos sólidos y líquidos, que son tratados en sistemas de tratamiento de residuales para minimizar las emisiones de gases a la atmósfera CO₂, CH₄, SO₂, así como la contaminación de las aguas terrestres y marinas.
3. Es posible analizar el ciclo de vida de la producción porcina y valorar diferentes variantes de mejoras ambientales utilizando la metodología propuesta por la serie NC-ISO 14 040 y aplicando el software Simapro 7.1 y métodos empíricos aplicados en la investigación.

Capítulo III



Capítulo 3 – “Análisis de los resultados”

En este capítulo se desarrolla la metodología propuesta para evaluar el impacto ambiental del ciclo de vida de la producción porcina en las unidades pertenecientes a Palmira: Integral I, Integral II y Multiplicador, se elabora el inventario del ciclo de vida de la producción porcina, se identifican las categorías de impactos y de daño más afectadas de la producción porcina, valorándose variantes de mejoras que disminuyan el impacto ambiental del ciclo de vida de la producción porcina.

3.1 – Definición de objetivos y alcance

- Funciones del sistema estudiado

El uso final del producto son las toneladas de carne que se suministra a los clientes: empresas del MINAL, y del MINAG (Acopio), y empresa de gastronomía.

- Unidad funcional

La unidad funcional de este Análisis del Ciclo de Vida es una tonelada de cerdo, según la información de las unidades Integral I, Integral II y Multiplicador.

- Definición de los límites del sistema

Los límites del sistema se definen según la información que se tiene y los objetivos que se pretenden alcanzar definidas anteriormente.

- Límites geográficos

El Análisis de Ciclo de Vida realizado se limita a la producción porcina en las Unidades Porcinas pertenecientes al municipio de Palmira.

- Límites temporales

El horizonte temporal considerado es el año 2011.

- Etapas excluidas del análisis

Para este estudio quedan excluidas: las cargas ambientales relativas debido a los medicamentos, medios de transporte para la distribución de los animales, utensilios empleados para la manipulación en las naves y el uso final de los residuales.

Se ha incluido los sistemas de tratamiento de residuales como parte del proceso debido a las afectaciones que generan los residuos al medio ambiente.

- Calidad de los datos

Los datos han sido recogidos en las unidades objetos de estudio vinculado al proceso. Se seleccionó el proceso de la producción porcina por la importancia que tienen sus emisiones para el medio ambiente.

3.2 – Elaboración del inventario del ciclo de vida de la producción porcina

1 – Gestación

Esta etapa se inicia cuando la puerca ha sido cubierta o entra en período de gestación con un peso promedio de 160kg a 200kg. La alimentación consiste en requerimientos nutricionales como es vitaminas, minerales, proteína bruta y energía digestible, se le suministra 2.5 kg de pienso gestación como promedio diario 2 veces al día en un comedero lineal, se le garantiza el agua de beber 25 lt/diario durante las 24 horas del día; la limpieza de la misma se realiza con manguera de presión en dependencia del tiempo. También se realiza la supervisión y control de los medicamentos, factores que son muy importante en esta etapa del proceso, las vacunas que se le suministran son la Cólera en la terminación del ciclo 2 ml/puerca, la Erisipela una vez al año 2ml/puerca, leptospira en la semana cinco y siete 5ml/puerca y en la semana diez y doce en el período de gestación la Aujeszky y EMC de 5ml/puerca cada una.

Para la gestación se utilizan los verracos, que son los machos seleccionados para la reproducción con un peso no menos de 180 kg. Estos se mantienen en esta categoría hasta su eliminación de acuerdo con los criterios establecidos, recibirán 2.7kg como promedio diarios de pienso único; en la época de verano se les suministra proteína de buena calidad y una premezclada minero-vitamínica; dentro de los medicamentos se le suministra la vacuna de Cólera cada 6 meses 2ml/puerco y la de Erisipela una vez al año 2ml/puerco. Además se le garantiza el agua de beber 25 lt/diario durante las 24 horas del día, y la limpieza de la misma se realiza con manguera de presión en dependencia del tiempo.

2 – Maternidad

Ésta debe reunir requisitos muy específicos, pues en ella conviven dos categorías de cerdo con requerimientos muy diferentes las reproductoras y las crías, las puercas en parto y lactantes recibirán tres raciones al día. El día del parto las cerdas comen 1 kg de alimento si el animal lo acepta. A partir del quinto día del parto, las puercas reciben los alimentos dependiendo del estado físico, apetito y en dependencia de las crías. El tipo de pienso a emplear es de lactación. Las puercas se alimentan a voluntad propia, se considera 6 kg de pienso como promedio diario durante toda la lactancia. Durante la intervención del parto se le aplica Oxitocina 2 ml/puerca para reiniciar las contracciones y favorecer la expulsión de los fetos, membranas y líquidos. Las crías nacen con un peso aproximado de 1.4 kg, estos consumen leche de la madre, la cual le suministra a través del calostro los anticuerpos y nutrientes básicos para su sano desarrollo y a la reproductora se le garantiza al menos 3 raciones de alimentos diarios, después del parto los restos de membranas se entierran o se incineran, se limpia y desinfectan la nave.

Las crías al terminar el parto se les asegura la toma de calostro en las primeras 3 horas (25 ml), se le suministra Dextrana Ferrosa 2ml/cría simultáneamente a los 3 días de nacido, para evitar problemas respiratorios se les deben mantener buena higiene, cubículo seco, a los 7 días se le ofertan alimentos de pienso pre-inicio o inicio de 0.06kg a voluntad propia hasta llegar al peso de 7 kg como promedio y a los 33 días de nacidos se le suministra el Cólera 2ml/cría.

3 - Desarrollo y Crecimiento

Después del período de lactancia inicia la etapa de destete que tiene como propósito aislar a los lechones de las madres, mientras aún conservan defensas contra algunas enfermedades, para aumentarles la carga alimenticia. Luego los lechones y lechonas, que son animales preseleccionados para la reproducción al momento del destete con pesos nunca menor de 7 kg, disponen para su alimentación pienso inicio 0.90 kg para el crecimiento preceba y 2.2 kg para el crecimiento auto-reemplazo en comederos de tolvas, el agua de beber se suministrara las 24 h del día, la limpieza se hará en seco con palas y escobillones durante 2 semanas, al concluir la limpieza, se le aplica algún desinfectante. Después de las 2 semanas, serán baldeados con agua de presión en los lugares donde se acumula la excreta, los desechos se destinan al sacrificio, su esquema de vacunación se le suministra la vacuna Erisipela 2ml/puerco en la semana cuatro.

En la etapa de desarrollo los Cochinatos y Cochinatas tienen un peso promedio entre 39 y 100 kg, las naves se limpian con agua a presión, se garantiza la limpieza de los comederos y tiene agua de beber las 24 horas del día; para la alimentación reciben dos raciones al día (mañana y tarde) en dependencia del comedero y en toda su etapa reciben pienso de crecimiento con un consumo de promedio de 2.7 kg.

4 – Engorde

Esta última fase del proceso productivo de cualquier unidad porcina, consiste en llevar el animal a un peso terminal aproximado de 120 Kg. Esto se logra suministrándole pienso ceba 2.8 kg, formulados especialmente con ingredientes que estimulan el crecimiento, desarrollo y engorde del animal.

En el Anexo 8 se muestra el mapa SIPOC y en el Anexo 9, 10 y 11 están representados los diagramas de flujo de cada unidad.

3.2.1 – Descripción del sistema de tratamiento residual de las unidades porcinas evaluadas

Multiplicador

El residual porcino crudo es arrastrado durante la limpieza húmeda hasta un colector sanitario exterior ubicado en el fondo de las naves porcinas, que por gravedad recibe el agua residual de las naves durante la limpieza de cada una de ellas.

El colector cuenta con 4 registros típicos de alcantarillado, para facilitar la limpieza en caso de obstrucciones.

El sistema de tratamiento de los residuales del centro porcino consta de 4 lagunas de estabilización que trabajan en serie.

Las lagunas o estanques de estabilización pueden definirse como un reactor horizontal en el cual el flujo hidráulico es no ideal (flujo disperso) y donde ocurren varios procesos de tipo biológico que promueven la remoción de la materia orgánica y bacterias; además compiten con cualquier planta de tratamiento convencional en cuanto a remoción de sólidos sedimentables y bacterias.

La degradación de la materia orgánica en general, ocurre por vía microbiana en presencia de oxígeno, luego es un proceso de tipo aeróbico en gran parte de su volumen y en las capas profundas sin embargo ocurre la digestión anaeróbica de los sólidos sedimentados.

La laguna anaeróbica reduce la carga orgánica sedimentable. A partir de la recepción de la mezcla completa, los sólidos sedimentables en forma de lodos se depositan en el fondo y se degradan anaeróbicamente reduciéndose además los sólidos volátiles entre un 40-60 %. La laguna tiene una profundidad de 3 m, el tiempo de retención hidráulico es de 20 a 30 días, en dependencia de la carga tienen que ser vaciadas regularmente.

Continúa el tratamiento con el paso a la laguna facultativa; este es el tipo de laguna más empleado en nuestro país sobre todo para el residual doméstico. Su elección se fundamenta en su probada eficiencia.

La laguna facultativa tiene una profundidad de 1.2 a 2.4 m garantiza que la carga en DBO_5 sedimentales y disuelta se estabilice anaeróbica y aeróbicamente para su vertimiento y disposición final. Su tiempo de retención es de 5 a 10 días.

La laguna aeróbica se caracterizan por su poca profundidad de 1 a 1.2 m, su tiempo de retención adicional es para disminuir los patógenos y mejorar la calidad del efluente en términos de DBO_5 , necesitan extracción de sólidos temporalmente.

Integral I

Esta unidad consta de un sistema de tratamiento de una trampa de sólidos y tres lagunas, anaeróbica, facultativa y aeróbica.

Los residuos de la unidad son separados de las aguas residuales a través de un tratamiento primario que consiste en enviar estos residuos que se encuentran suspendidos o son arrastrados en las aguas residuales a un sistema de separadores de rejillas o filtros llamado trampa de sólido.

Las lagunas anaeróbicas son estanques profundos de 2,4 a 8 m que en su interior se desarrollan procesos biológicos conducentes a reducir la demanda de oxígeno (DBO_5) y los nutrientes que vienen en el efluente. Éstas pueden aceptar altas cantidades de carga orgánica produce algunos malos olores debido a que no está diseñada y operada apropiadamente, son sensibles a los cambios repentinos de temperaturas, reduciéndose además los sólidos volátiles entre un 40-60 %. El tiempo de retención de la misma, es de 20 días.

Los sólidos no degradados se acumulan en el fondo, dando lugar a la formación de una capa de lodos. A medida que aumenta el tiempo de almacenamiento de los lodos en las lagunas, su contenido en materia orgánica disminuye debido a la degradación anaerobia a la que están sometidos.

El aporte de oxígeno necesario para la degradación se produce por la acción fotosintética de las algas que conviven en el estanque y por la difusión generada por las turbulencias de la propia laguna su tiempo de retención es de 18 días.

En el estrato superior de la laguna aeróbica existe una simbiosis entre algas y bacterias, en presencia de oxígeno; en los estratos inferiores se produce una biodegradación anaerobia de los sólidos sedimentales. Esta laguna por lo general es aeróbica durante el día, así como durante algunas horas de la noche. El aporte de oxígeno se genera, al igual que en lagunas aeróbicas, a partir de las algas y de la difusión. Garantizando como mínimo 10 días de retención.

Integral II

En esta unidad existe sistema de tratamiento la misma consta de dos trampa de sólido, ocho lechos de secado y tres lagunas anaeróbica, facultativa y aeróbica.

Existen dos trampas de sólidos, debido a su alta concentración de sólidos y teniendo en cuenta que el sistema está desprovisto de sedimentadores, el proceso de decantación se desarrolla dentro de los lechos de sacados, donde por incidencia de las altas cargas y la gran cantidad de fibras presentes en esta agua, comienza de manera acelerada, una digestión no convencional; a la vez que se produce en profundidades menores en presencia de un manto de lodos con cargas superiores. El tiempo de retención del lodo de los lechos de secados es de 30 días. En este órgano de tratamiento, se estima una reducción del 40% de la DBO_5 .

El residual porcino es conducido a lechos de secado, donde disminuyen el contenido de humedad por evaporación y filtración hasta valores que faciliten su manipulación.

La laguna anaeróbica permite una remoción del 50% de la DBO_5 y por el gran tiempo de retención, sedimentan los sólidos que pudieran escaparse de los lechos de secado y ser arrastrados por la corriente. El tiempo de retención hidráulico es de 5.5 días.

En la laguna facultativa se puede esperar una eficiencia del 60% en la remoción de DBO_5 . El tiempo de retención de esta laguna es de 10 días.

Con respecto a la disposición final de los residuales, serán conducidos por gravedad aguas abajo hasta un arroyo intermitente que vierte sus aguas a un embalse natural y de ahí se incorpora finalmente al Río Saladito que desemboca a la Bahía de Cienfuegos.

La descripción de los sistemas de tratamientos de las tres unidades porcinas, a continuación se muestra la información abordada anteriormente (ver Anexo 12, 13, 14.).

3.3 – Evaluación del impacto del ciclo de vida de la producción porcina

En la evaluación de impacto ambiental del ciclo de vida de la producción porcina para una tonelada de producto, se determinó que la categoría de impacto que más incide en el proceso es el calentamiento global con un 92.5 %, seguido por la respiración de inorgánicos con un 4.16 %, energía no renovables y otros (ver Figura 3.1). En el Anexo 15 se muestran los valores de cada categoría de impacto.

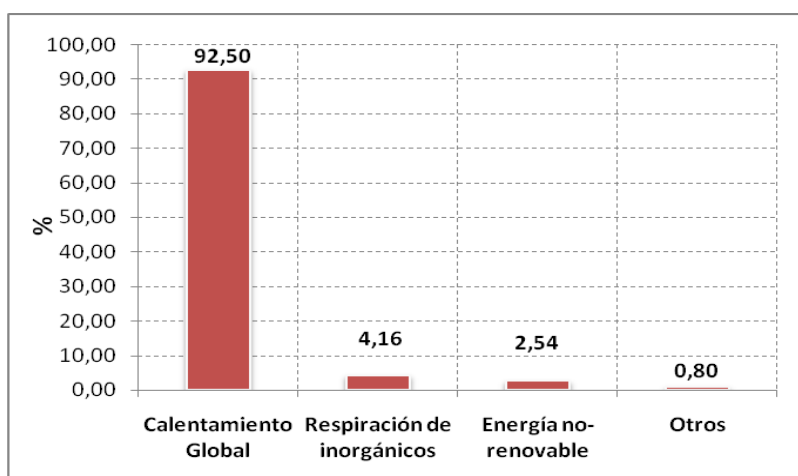


Figura 3.1 Ponderación por categorías de impacto con el método Impact 2002+.

En la Figura 3.2 se puede observar también que las emisiones afectan principalmente a la categoría de daño son: cambio climático con un 92.5 %, salud humana con un 4.65 %, un 2.54 % de los recursos y 0.31 % calidad del ecosistema viéndose afectada la población de Palmira.

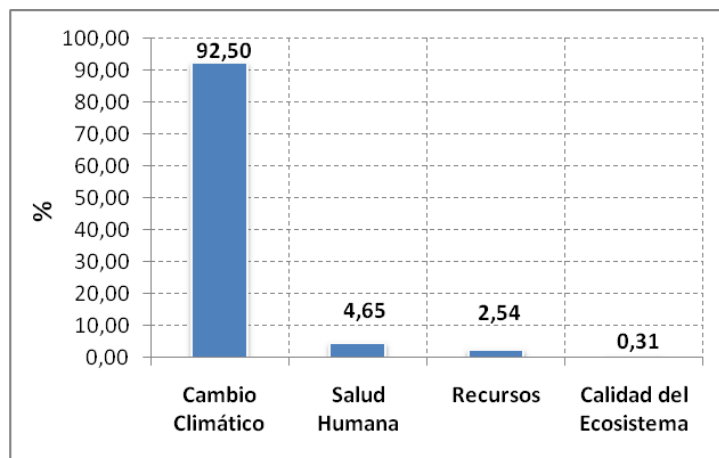


Figura 3.2 Ponderación por categorías de daño con el método Impact 2002+.

En la Figura 3.3 se pueden observar las emisiones al aire, que están dadas principalmente por la emisión de 971.97kg de metano (CH_4) y 648.01kg de dióxido de carbono por cada tonelada producida; estas sustancias son la principal causa del calentamiento global y por consiguiente el cambio climático.

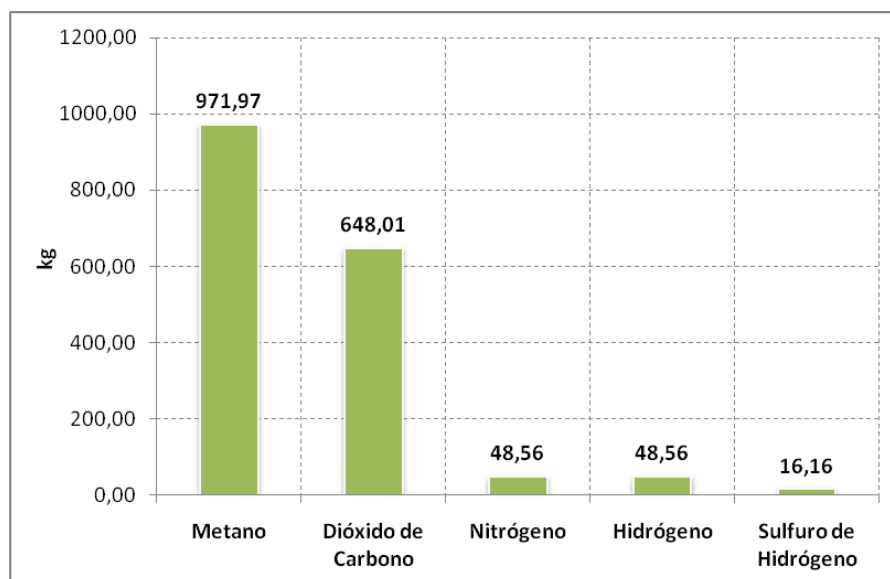


Figura 3.3 Representación gráfica de las sustancias que intervienen en la categoría de impacto calentamiento global.

En la Figura 3.4 se aprecian las emisiones al agua, que están dadas principalmente por la Demanda Química de Oxígeno en un 193.02kg, 129.11 kg de sólidos totales y 109.74kg de Demanda Biológica de Oxígeno.

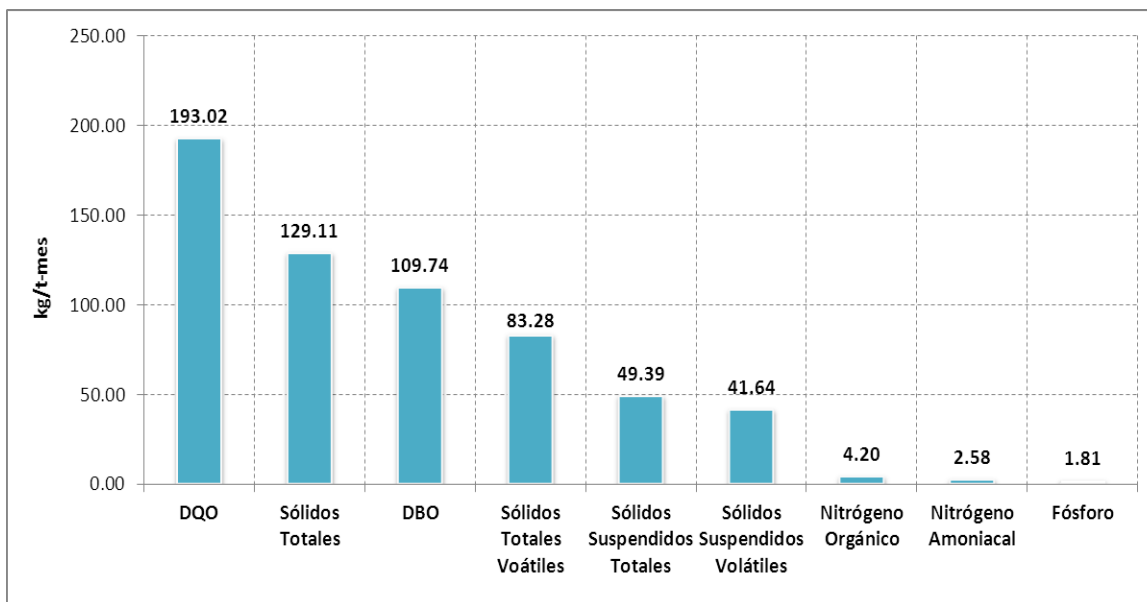


Figura 3.4 Representación gráfica de las emisiones al agua.

La comparación del impacto ambiental de las tres unidades, según la producción promedio mensual que presentan las mismas, (ver figura 3.5) se determinó que la Integral I es la unidad que presenta un mayor impacto a las categorías evaluadas principalmente a la categoría de calentamiento global. En el Anexo 16 se muestran los valores de las categorías de impacto para las tres unidades.

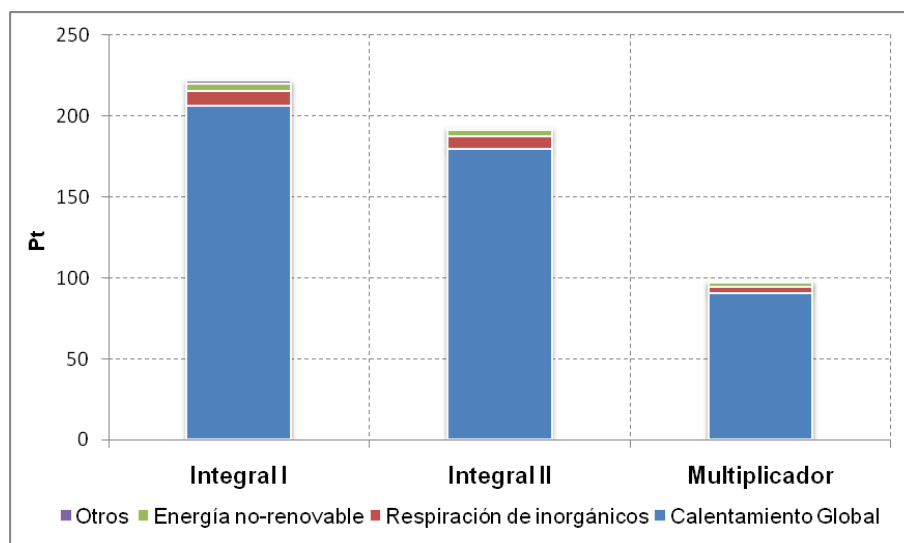


Figura 3.5 Ponderación por categorías de daño con el método Impact 2002+.

3.3.1 - Cálculo de Huella Ecológica

La huella ecológica calculada permite una comparación de las tres unidades porcinas, donde se miden los impactos que produce una tonelada de cerdo expresados en hectáreas, se calcularon diferentes Sub-Huella donde se describe cuál fue la unidad de mayor porcentaje en cada una de

ella para identificar cuántas hectáreas de bosques son necesarias para reducir las emisiones de CO₂ y combatir el cambio climático (ver Figura 3.6).

La Subhuella de Energía representa el 52% del total en el Multiplicador, la subhuella de insumos representa en la Integral I un 34.9%, la subhuella de tierra y subhuella de superficie constructiva obtuvo el mayor porcentaje en la Integral I con un 41% y 48.91% respectivamente.

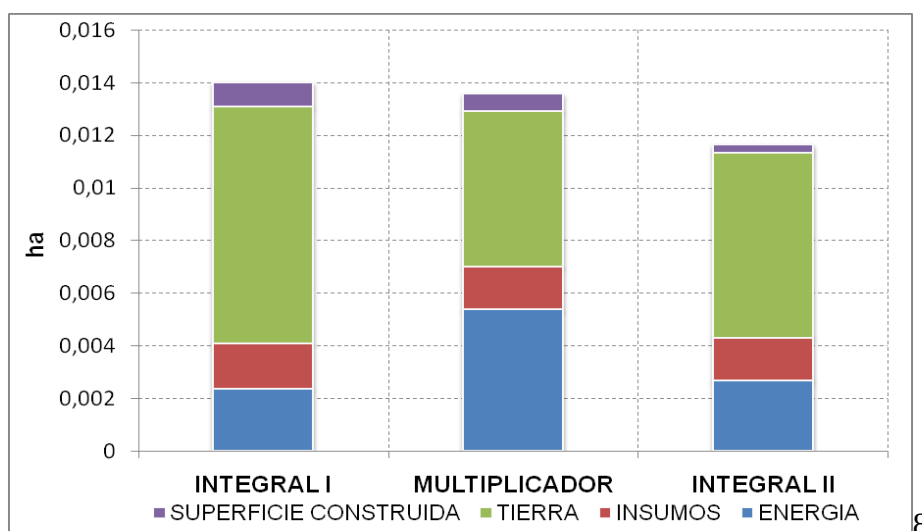


Figura 3.6 Comparación de la huella ecológica.

3.3.2 – Resultados del procesamiento del método Delphi

Se aplicó la encuesta que se muestra en el Anexo 17. Como resultado del procesamiento, en la Integral I, 13 de los 20 candidatos a expertos se evaluaron de “*alta competencia*” en este tema, 6 candidatos se evaluaron de “*competencia media*” y 1 se evaluó de “*competencia baja*”, en la Integral II, 13 de los 20 candidatos a expertos se evaluaron de “*alta competencia*” en este tema, 5 candidatos se evaluaron de “*competencia media*” y 2 se evaluaron de “*competencia baja*” y en el Multiplicador, 13 de los 20 candidatos a expertos se evaluaron de “*alta competencia*” en este tema, 5 candidatos se evaluaron de “*competencia media*” y 2 se evaluaron de “*competencia baja*”.

En la Integral I se obtuvo un W de Kendall con un valor de 0.77, en la Integral II 0.75 y en el Multiplicador 0.76, lo que evidencia que existe concordancia entre los expertos, y se acepta la hipótesis alternativa de que existe comunidad de preferencia para un $\alpha=0.05$ (ver tabla 3.1).

Tabla 3.1 – Estadísticos de contraste del método Delphi.

Estadísticos de contraste	INTEGRAL I	INTEGRAL II	MULTIPLICADOR
Chi Cuadrado	249.02	244.03	246.29
W de Kendall	0.77	0.75	0.76
Valor de Probabilidad	0.000	0.000	0.000

Este análisis permitió determinar las principales deficiencias que presenta el proceso productivo en cada de una de las unidades las cuáles son:

1. No aprovechamiento de los residuos
2. No se realiza la limpieza de las lagunas
3. Mal estado de las conexiones hacia los tratamientos
4. No se controla el uso de la energía
5. No se cuenta con trampas de sólidos eficientes
6. No se controla el agua que se abastece

3.3.3 - Análisis de Modo y Efectos de Fallos (FMEA)

Con las deficiencias detectadas en las tres unidades con el método Delphi se aplicó la técnica Análisis de Modo y Efectos de Fallos donde se describen las causas y efectos que estos problemas pueden provocar al medio ambiente (ver Anexo 18).

Como resultado de la aplicación de la técnica FMEA se representaron los fallos en un diagrama de Pareto (ver Figura 3.7), a partir del cual se determinó el orden de prioridad de cada fallo, siendo el no aprovechamiento de los residuos, la falta de limpieza de las lagunas y el mal estado de las conexiones hacia los tratamientos los más significativos del sistema.

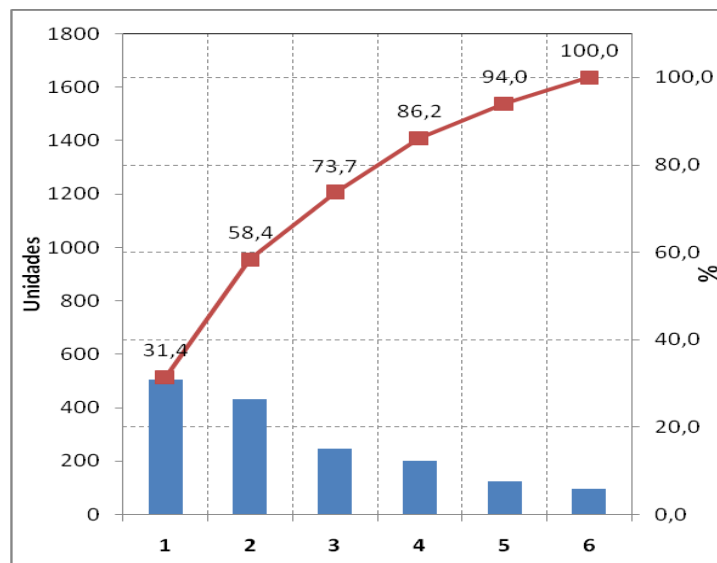


Figura 3.7 Diagrama de Pareto.

3.4 –Valoración de variantes de mejora ambiental

A partir del análisis realizado en este trabajo y la revisión de varios estudios sobre la problemática ambiental a nivel nacional e internacional se propone a la empresa trabajar en los siguientes acápites para mejorar su ecoeficiencia.

3.4.1- Valoración de la variante I

Se recomienda aprovechar los residuales sólidos y líquidos de origen animal para la producción de biogás, manteniendo el flujo tecnológico del sistema. Si se considera la obtención de gas a partir de la cantidad de trabajadores que se encuentra en cada unidad se puede plantear:

El centro Integral Porcino I y II cuenta con 61 y 63 trabajadores obteniendo diario 18.3 m³biogás/día para un volumen de digestor de 55 m³.

El digestor se carga por gravedad, una vez al día, con un volumen de mezcla de excreta, agua, según sea la materia prima que se utilice y produce una cantidad diaria de gas más o menos constante si se mantienen las condiciones de operación.

La relación excreta: agua deberá ser 1:3, es decir se mezclarán aproximadamente 7.0 vagones de excreta fresca con 21 vagones de agua; pero teniendo en cuenta los resultados positivos obtenidos en otros lugares del país en cuanto a producción de biogás, la entrada de la carga diaria al digestor se producirá de forma libre e ininterrumpida mientras transcurre la limpieza de las naves, sin previa elaboración de la mezcla.

Para la evaluación económica de la propuesta se dispone de los siguientes datos:

Proyección del costo de la inversión	Integral I	Integral II
Costo de rehabilitación de las lagunas	\$63,333.79	\$16,639.54
Costo de construcción de 1 Digestor de 55 m ³	\$7,202.00	\$7,202.00
Costo del proyecto	\$676.00	\$676.00
Costo total de la inversión	\$71,211.79	\$24,517.54

El centro Multiplicador cuenta con 42 trabajadores obteniendo diario 12.6 m³biogás/día para un volumen de digestor de 36 m³.

La relación excreta:agua deberá ser 1:3, es decir se mezclarán aproximadamente 4,6 vagones de excreta fresca con 9.0 vagones de agua; pero teniendo en cuenta los resultados positivos obtenidos en otros lugares del país en cuanto a producción de biogás, la entrada de la carga diaria al digestor se producirá de forma libre e ininterrumpida mientras transcurre la limpieza de las naves, sin previa elaboración de la mezcla. Recomendando al respecto, abrir las compuertas de entrada, del depósito mezclador, cuando se efectúe la limpieza de las naves de reproducción u otros cerdos adultos.

Para la evaluación económica de la propuesta se dispone de los siguientes datos:

Proyección del Costo de la Inversión	Multiplicador
Costo de rehabilitación de las lagunas	\$24,970.26
Costo de construcción de 1 Digestor de 36 m ³	\$4,714.00
Costo del proyecto	\$443.00
Costo total de la inversión	\$30,127.16

A continuación se detallan algunos aspectos importantes a tener en cuenta a la hora de pronosticar los flujos de caja del proyecto:

- El período de proyección de los flujos de caja es mensual.
- El proyecto tiene una duración de 240 meses.
- La depreciación se aporta al Presupuesto del Estado.
- Este proyecto cuenta con financiamiento externo, es decir es financiado totalmente por el Grupo de Producción Porcina.
- La tasa de interés de préstamos a largo plazo es del 7% anual, equivalente al 0.57% mensual.
- La tasa de depreciación de la inversión es del 6% anual, equivalente al 0.49% mensual.
- Se proyectaron las entradas por concepto de venta de materia orgánica a \$20.00, ahorros generados por la generación y consumo de biogás y por la reutilización del agua para el fertiriego.

Con la realización del proyecto en estudio las unidades porcinas obtienen ahorros generados por la utilización del biogás para la cocina por un valor total de \$36 000.00 al no tener que utilizar la madera como fuente de energía.

En la tabla 3.2 se muestra los resultados económicos calculados, los que demuestran que la inversión se recupera en menos de un año y el Valor Actual Neto es superior a los \$400000.00.

Tabla 3.2- Resultados económicos de la variante I.

Resultados Obtenidos	Integral I	Integral II	Multiplicador
VAN (\$)	927699.29	888956.04	486517.49
TIR (% mensual)	10.10	26.80	12.36
IR	14.03	37.26	17.15
PRI descontado	9,52 meses	3,76 meses	7,82 meses
PRI real	9,24 meses	3,72 meses	7,63 meses

3.4.2 - Valoración de la variante II

La variante I disminuye el impacto ambiental y la inversión puede recuperarse en poco tiempo, pero si se construye dos biodigestores de cúpula fija de 90m³ en cada unidad el gas sobrante se podrá utilizar indistintamente para el calentamiento de las crías, calentamiento del agua de los filtros sanitarios, etc. Además de permitir la cocción de alimentos para los trabajadores y los cerdos. En el Anexo 19 se muestran los costos para un biodigestor de 90m³.

Para la evaluación económica de la propuesta se dispone de los siguientes datos:

Proyección del Costo de la Inversión	Integral I	Integral II	Multiplicador
Costo de rehabilitación de las lagunas	\$63,333.79	\$16,639.54	\$24,970.16
Costo de construcción de 2 Digestores de 90 m ³	\$22,471.66	\$22,471.66	\$22,471.66
Costo del proyecto	\$15,015.59	\$15,015.59	\$15,015.59
Costo total de la inversión	\$100,821.04	\$54,126.79	\$62,457.41

Con la realización del proyecto en estudio las unidades porcinas obtienen ahorros generados por la utilización del biogás para la cocina por un valor total de \$48000.00 al no tener que utilizar la madera como fuente de energía.

En la tabla 3.3 se evidencia la factibilidad económica de esta variante al recuperarse la inversión en un año aproximadamente con un Valor Actual Neto superior a los \$440000.00.

Tabla 3.3 – Resultados económicos de la variante II.

Resultados Obtenidos	Integral I	Integral II	Multiplicador
VAN (\$)	879622.12	840878.69	440058.06
TIR (% mensual)	6.86	11.96	5.60
IR	9.72	16.54	8.05
PRI descontado	11,97 meses	8,10 meses	13,22 meses
PRI real	11,41 meses	7,89 meses	12,66 meses

En el Anexo 20 se muestra el esquema del biodigestor de cúpula fija de 90m³.

Estas propuestas están en correspondencia con lo planteado en los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución, específicamente en el lineamiento 247 que plantea potenciar el aprovechamiento de las distintas fuentes renovables de energía, fundamentalmente la utilización del biogás, la energía eólica, hidráulica, biomasa, solar y otras; priorizando aquellas que tengan el mayor efecto económico; y con el lineamiento 135 que establece definir una política tecnológica que contribuya a reorientar el desarrollo industrial, y que comprenda el control de las tecnologías existentes en el país; a fin de promover su modernización sistemática atendiendo a la

eficiencia energética, eficacia productiva e impacto ambiental, y que contribuya a elevar la soberanía tecnológica en ramas estratégicas.

3.4.3 - Factibilidad ambiental de las variantes propuestas

Con la aplicación de la variante I se dejan de emitir anualmente a la atmósfera:

- 315.36 t de Metano
- 210.24 t de Dióxido de Carbono
- 15.77 t de Nitrógeno e Hidrógeno
- 5.26 t de Sulfuro de Hidrógeno

Con la aplicación de la variante II se dejan de emitir anualmente a la atmósfera:

- 1166.4 t de Metano
- 777.6 t de Dióxido de Carbono
- 58.32 t de Nitrógeno e Hidrógeno
- 19.44 t de Sulfuro de Hidrógeno

Lo antes planteado representa una disminución de las emisiones en un 4.47% como promedio para la variante I, y aproximadamente en un 12.63% para la variante II, disminuyéndose así mismo la huella ecológica específicamente la huella de carbono por dejarse de emitir en un año más de 200 t de CO₂, al aprovecharse los residuales líquidos y sólido, mejorarse los sistemas de tratamientos cumpliendo con el proyecto técnico propuesto y con una mejora en las conexiones (ver Figura 3.8).

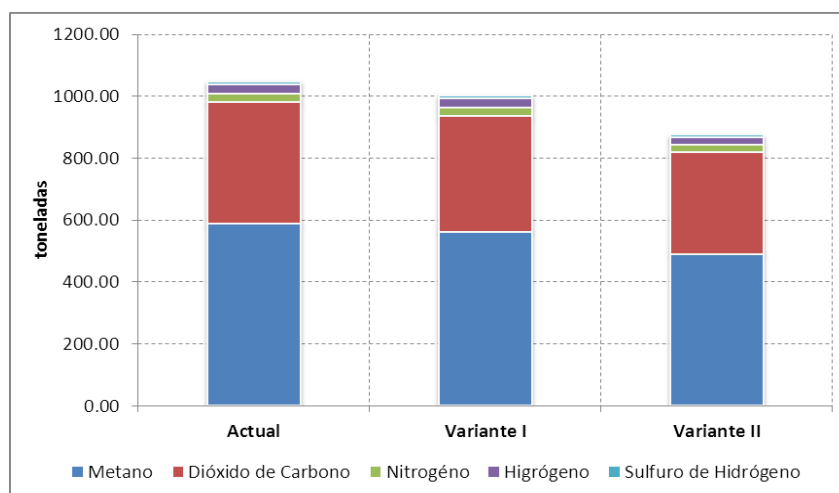


Figura 3.8- Representación de la disminución de las emisiones con las variantes propuestas.

Para el año 2014 se están dando todos los pasos para la construcción de una planta de biogás con el objetivo de aprovechar todo el excremento porcino, además de entregar energía a la red nacional, aún la empresa no cuenta con el financiamiento para comenzar con la inversión.

Además de las variantes propuestas se recomienda a la dirección de las unidades sembrar árboles frutales y forrajeros entre las naves, lo que pudiera contribuir a disminuir la huella ecológica por la absorción del CO₂ emitido por la producción porcina, mantener la temperatura en las naves y aportar otra fuente de alimento animal y humano.

3.4.4 - Beneficios ecológicos, económicos y sociales de las variantes evaluadas

Beneficios ecológicos:

- Elevación de la eficiencia de tratamiento de aguas residuales a bajo costo, contribuyendo a la disminución de carga contaminante vertida.
- Sustitución de leña, por gas, que previene en gran medida la destrucción de los bosques. Se ha calculado que 1m³ de biogás utilizado para cocinar evita la deforestación de 0,335 ha de bosques con un promedio de 10 años de vida de los árboles.
- Obtención de 18.3 m³/día y 12.6 m³/día de gas para cocinar protege el área boscosa, pues se dejan de talar 6.13 y 4.22 Ha/día y se dejan de quemar 496 m³ de madera al año.
- Disminuye la emisión a la atmósfera de Dióxido de Carbono (CO₂) y Metano (CH₄), gases causantes de efecto invernadero, por no usar combustibles fósiles y leña.
- Los estiércoles que generan de forma natural los gases metano y monóxido de nitrógeno, cuyo efecto invernadero es respectivamente 20 y 320 veces mayor que el del CO₂ y que se vaporan a la atmósfera, son recogidos y reciclados en los biodigestores.
- Mejora los suelos afectados con aplicación de bioabono.
- Mejora las condiciones higiénico-sanitarias del medio circunlante.

Beneficios económicos:

- Ahorro por concepto de tala y transportación de leña.
- Ahorro por concepto de salarios para la tala y transportación de leña.
- Obtención de ton/año de bioabono de alta calidad, que sustituye los fertilizantes químicos.
- Mejora de la calidad y aumento de rendimientos agrícolas.(Productos ecológicos)
- Ahorro de agua potable para riego de los cultivos.
- Aumento de la disponibilidad y calidad de alimentos (plantas acuáticas y lombrices) a ofertar a los animales.

Beneficios sociales:

- Ahorro de portadores energéticos con la construcción de fuentes de energía renovables, que benefician a comedores obreros, etc.

- Capacitación de obreros, técnicos, profesionales y dirigentes del país en la construcción, puesta en marcha y explotación de las plantas de biogás durante su ejecución.
- Mejora la calidad de vida de los usuarios a partir de la disponibilidad de una fuente energética de bajo costo, que sustituye el uso de leña y keroseno.
- Humanización del trabajo de las mujeres, que elaboran los alimentos.
- Posible fuente de empleo para producción de humus, horticultura y floricultura, que genera nuevos ingresos.
- Cantidad de personas beneficiadas con el biogás por las plantas construidas.

Los resultados alcanzados pueden orientar a los responsables de tomar decisiones sobre los beneficios de la implementación de esta tecnología como una de las variantes para el tratamiento de residuales porcinos en el territorio de la provincia de Cienfuegos.

Conclusiones Parciales

1. Se elaboró el inventario del ciclo de vida de la producción aproximada para una tonelada porcina, con las entradas (materias primas) y salidas (emisiones al medioambiente) que presenta el sistema producto.
2. Se identificó que la categoría de impacto que más incide en el proceso es el calentamiento global con un 92.5 %, siendo el metano y el dióxido de carbono las sustancias más emitidas a la atmósfera.
3. Se calculó la huella ecológica de cada una de las unidades determinándose que la Integral I y el Multiplicador son la de mayor valor específicamente por la subhuella de tierra y energía que representa más del 50%.
4. Se determinaron los principales fallos del sistema para los cuáles se propusieron dos variantes de mejora disminuyéndose el impacto en un 4.47% como promedio para la variante I, y en un 12.63% con la segunda variante, y a su vez la huella ecológica.

Conclusiones



Conclusiones Generales

1. Se elaboró el inventario del ciclo de vida de la producción aproximada para una tonelada porcina, con las entradas (materias primas) y salidas (emisiones al medioambiente) que presenta el sistema producto.
2. Se identificó que la categoría de impacto que más incide en el proceso es el calentamiento global con un 92.5 % y la categoría de daño cambio climático, principalmente por las emisiones a la atmósfera de metano y de dióxido de carbono.
3. Se calculó la huella ecológica de cada una de las unidades determinándose que la Integral I y el Multiplicador son la de mayor valor específicamente por la subhuella de tierra y energía que representa más del 50%.
4. Se determinaron los principales fallos del sistema para los cuáles se propusieron dos variantes de mejora ambiental, económica y social, justificadas por el aprovechamiento de los residuos porcinos como fuente de energía renovable, disminuyéndose el impacto en un 4.47% como promedio para la variante I, y en un 12.63% con la segunda variante, y a su vez la huella ecológica.

Recomendaciones



Recomendaciones

1. Discutir los resultados del estudio con la Dirección de cada unidad a fin de que se lleven a cabo las propuestas analizadas y el resto de las medidas.
2. Gestionar, con la Empresa Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), mediciones de los efectos de la mejora con instrumentos de monitoreo del aire, agua y suelo, siguiendo las normas vigentes al respecto.
3. Aplicar el procedimiento realizado según la serie de normas NC-ISO 14 040 al resto de las unidades porcinas, para minimizar las cargas ambientales durante la ejecución del mismo.
4. Darle continuidad al proyecto de instalación de la planta de biogás en la que se aprovecharía el mayor porcentaje de excremento porcino que presenta estas unidades.

Bibliografía



Bibliografía

- Androvetto Villalobos, E. (2003). Diseño y Operación de un Modelo para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la Granja Porcina de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. San Carlos de Guatemala.
- Aponte Ortiz, F. I. (2006). Desarrollo sustentable.pdf. Retrieved from <http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-377>.
- Aranda, A. (2006). Ecodiseño y análisis de ciclo de vida.
- Carballo Penela, A. (2009). La huella ecológica de bienes y servicios: desarrollo de un método de cálculo y aplicación al ciclo de vida del mejillón en conserva en Galicia. Tesis Doctoral, Universidad de Santiago de Compostela.
- Cardim de Carvalho Filho, A. (2001). Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento – Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento. Doctorado en Ingeniería Civil, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- Carranza, M. A. (2008). Eco-eficiencia: camino hacia el desarrollo sostenible. Retrieved from <http://www.uic.org.ar/Archivos/Revista/File/ECO%20UIC%20-%20Introduccion%20a%20la%20Ecoeficiencia%20-%20Marcelo%20Carranza%2013Mar08.pdf>.
- Carreño Campo, C., & Hoyos Támara, N. (2010). La huella ecológica: un indicador potencial de sustentabilidad.
- Cloquell Ballester, V., Contreras Miranda, W., & Owen de C, M. E. (n.d.). Del diseño para el medio ambiente (DFE) al diseño ambientalmente integrado (dAI): una propuesta de cambio conceptual. Retrieved from http://www.aepro.com/congresos/2004_1/pdf/marowde@doctor.upv.es_8708c3b6f17a8987e5f6cc33c9ad21af.pdf.
- CNP+LH, C. N. D. P. M. L. D. H. (2009). Guía de Producción más limpia para la producción porcina (AGA & Asociados.). República de Honduras.
- Colectivo de Autores. (2008a). Tabloide Medio Ambiente.
- Colectivo de Autores. (2008b). EL desarrollo porcino en Cuba y la protección del medio ambiente.
- Chacón, J. A. (2006). Tecnología del Biogás. Retrieved from <http://www.cubasolar.cu>.
- Díaz Peña, M. (2009). “Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de la producción de alcohol: ejemplo de caso ALFICSA”. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Cienfuegos.

- Doménech Quesada, J. L. (2006). Guía metodológica para el cálculo de la huella ecológica corporativa. *Guía metodológica para el cálculo de la huella ecológica corporativa*. Retrieved from www.caei.com.ar/es/programas/recursosn/10.pdf.
- Fomento, M. (2005). La gestión por procesos. Retrieved from <http://www.fomento.es/NR/rdonlyres/9541ACDE-55BF-4F01-B8FA-03269D1ED94D/19421/CaptuloIVPrincipiosdelagestindelaCalidad.pdf>.
- Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida. (n.d.). NCISO 14 042: 2001 C.F.R. (2001).
- Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Interpretación del ciclo de vida. (n.d.). . NC-ISO 14 043: 2001 C.F.R. (2001).
- Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y Estructura. (n.d.). . NC-ISO 14 040: 1999 C.F.R. (1999).
- "Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Definición del objetivo y alcance, y análisis del inventario". (n.d.). NC-ISO 14 041: 2000 C.F.R. (2000).
- "Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Ejemplos de aplicación de la NC-ISO 14041 para la definición del objetivo y alcance y análisis del inventario". (n.d.). NC-ISO 14 049: 2001 C.F.R. (2001).
- Güereca Hernández, L. P. (2006). "Desarrollo de una Metodología para la valoración en el Análisis del Ciclo de Vida aplicada a la Gestión Integral de Residuos Municipales". Tesis Doctoral, Politecnica de Cataluña.
- Hernández Lugo, A. (2002). Organización de la producción y del trabajo. Centro de Estudios de Técnicas de Dirección (CETDIR), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría cujae, Ciudad de La Habana, Cuba.
- Iglesias, D. (2005). "Relevamiento exploratorio del análisis del ciclo de vida de productos y su aplicación en el sistema agroalimentario". Retrieved from <http://www.eumed.net/ce/2005/dhi-acv.pdf>.
- Joaquín Mira, J., & Blaya, I. (n.d.). *La Gestión por Procesos*. Miguel Hernández.
- Jolliet, O., & Charles, R. (2003). Impact 2002 +: A New Life impact assessment methodology., 324-330.
- López Bastida, E. (2006a). Ecoeficiencia en el contexto de la globalización: Un reto de la empresa Latinoamericana para alcanzar el desarrollo sostenible. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad de Cienfuegos. Cuba.
- López Bastida, E. (2006b). Guía para la ecoeficiencia. Fundación fórum ambiental.

- Mariscal Landín, G. (2007). Tratamiento Excretas Cerdos. Retrieved from www.produccion-animal.com.ar.
- Monzón González, D. (2008). *Evaluación del Impacto Ambiental en la Empresa Gydeima con enfoque de Análisis de Ciclo de Vida*. UCf Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.
- Moreno López, R. (2005). La huella ecológica. Madrid (España).
- Pons Murguía, R. Á., & Villa Glez del Pino, E. M. (2006). Gestión por Procesos.
- Quintero, G., Robledo, J., & Cruz, C. (2008). Los nuevos conceptos sobre “agua virtual” y “huella hídrica” aplicados al desarrollo sostenible: implicaciones de la agricultura en el consumo hídrico”.
- Reyes Gil, V. D. L. M. (2010). "Producción porcina y el medio ambiente", en Observatorio de la Economía Latinoamericana, Nº 135, 2010. Retrieved from <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/cu/2010/vmrg.htm>.
- Ribal, J., & Sanjuan, N. (n.d.). Medición de la ecoeficiencia.
- Rodríguez Becerra, M. (2005). "Gestión Ambiental en América Latina y el Caribe: evolución, tendencias y principales prácticas". Chile: Banco Interamericano de Desarrollo, Departamento de Desarrollo Sostenible, División de Medio Ambiente.
- Romero Rodríguez, B. (2004). El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental. Retrieved from www.iie.org.mx/boletin032003/tend.pdf.
- Suppen, N., & van Hoof, B. (2007). Conceptos básicos del Análisis de Ciclo de Vida y su aplicación en el Ecodiseño. Retrieved from www.lcamexico.com.
- Toledo. (2002). La Gestión por procesos. Servicio de Calidad, SESCOAM.
- Unión Europea. (n.d.). Guía Informativa sobre los Sistemas de Gestión Medioambiental. Retrieved from http://www.medioambientecamaravalladolid.com/portal/pdf/Gestion_Ambiental.pdf.
- WWF Internacional, Golbal Footprint Network, & ZSL Living Conservation. (2010). Informe Planeta Vivo 2012.
- Zaratiegui, J. (1999). La gestión por procesos: su papel e importancia en la empresa. *Revista Economía Industrial. España, Vol.VI*, p.82.

Anexos



Anexo 1- Acontecimientos ocurridos en la gestión ambiental.

Fuente: (Colectivo de Autores, 2008)

AÑOS	ACONTECIMIENTOS
1971 - Informe del Club de Roma:	▪ Cuestiona la racionalidad de la meta habitual del crecimiento económico.
1972 - Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano:	▪ Necesidad de tomar conciencia de los grandes problemas ambientales existentes. ▪ Preservar la naturaleza. ▪ Elevar la calidad de vida en el planeta para el bienestar presente y futuro de los hombres que lo habitan. ▪ Abordar el subdesarrollo y la pobreza. ▪ Sentó las bases para la creación del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
1973 - Creación del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA):	▪ Difusión de la problemática ambiental. ▪ Participación de la sociedad en el cuidado y la protección del medio ambiente.
1984- Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo:	▪ Planteamiento de la necesidad de una nueva ética de desarrollo en torno a la equidad, con cambios de patrones de producción y consumo. ▪ Definición del concepto desarrollo sostenible. ▪ Propuesta de metas a partir de tres dimensiones: la económica, la social y la ambiental.
1987- Presentación en la Asamblea General de Naciones Unidas del informe Nuestro futuro común:	▪ Profundizó los debates sobre los problemas ambientales en los fórum políticos.
1992- Conferencia sobre Medio Ambiente y Desarrollo:	▪ Postuló un nuevo régimen ambiental internacional, a partir de nuevos principios y conceptos éticos globales. ▪ Definió metas a alcanzar para el siglo XXI, y las Convenciones Marco de Cambio Climático y de Diversidad Biológica. ▪ Creó una mayor conciencia acerca de los problemas ambientales y de los vínculos entre medio ambiente, economía y sociedad.
Después de la Cumbre de Río:	▪ Valoración de los problemas con un nuevo enfoque, integrado a las esferas económica y social, teniendo en cuenta la deuda ecológica del mundo desarrollado.

Anexo 2- Conceptos de gestión ambiental. **Fuente:** (López, 2006).

AUTOR	CONCEPTO
(PNUMA, 1993)	Conjunto de actividades del Estado dirigidas a la conservación, mejoramiento, recuperación y monitoreo del medio ambiente, los de intervención directa en el ambiente natural y antrópico y los de control de las actividades particulares.
(Ballesleras, 1990)	Gestión Ambiental es el instrumento teórico y técnico para alcanzar determinado modelo de desarrollo sustentable. Es el conjunto de acciones normativas, administrativas y operativas que implementa el Estado para alcanzar un grado de sustentabilidad ambiental.
(ONUDI, 1993)	El planeamiento y control sistemático de la relevancia del medio ambiente en una determinada organización.
(Normas ISO 14000: 1995)	Es una parte integral del sistema de gestión global de una organización. El diseño de un sistema de gestión ambiental, es un proceso continuo e interactivo. Estructuras responsabilidades, prácticas, procedimientos, procesos y recursos para implementar políticas, objetivos y medios ambientales que deben ser coordinados con los esfuerzos que se realicen en otras áreas.
(PNUMA, 1996)	El conjunto de políticas, objetivos y programas en materia de medio ambiente que se establezcan y pongan en práctica a fin de contemplar el cumplimiento de todos los requisitos normativos correspondientes al medio ambiente y la mejora continua y razonable de su actuación en ese sentido.

Anexo 3- Cronología del desarrollo del Análisis del Ciclo de Vida. **Fuente:** (Monzón, 2008)

Año	Acontecimiento
1969	Harry E. Teasley, de Coca Cola, visualiza un estudio que pueda cuantificar la energía, materiales y consecuencias ambientales a lo largo del ciclo de vida completo del empaque, desde la extracción de la materia prima hasta su disposición final. (Hunt y Franklin, 1996).
1970	El <i>Midwest Research Institute</i> (MRI) desarrolla un estudio ancestro de los Análisis del Ciclo de Vida, el que se llama “ <i>Resources and Environmental Profile Analysis</i> (REPA)”, donde se analizan diferentes embases, para <i>Coca Cola Company</i> (Hunt y Franklin, 1996).
1971	El segundo REPA realizado por MRI es para <i>Mobil Chemical Company</i> , se analizan las charolas de espuma de poliestireno y las charolas de pulpa de papel (Hunt y Franklin, 1996).
1972-1976	Se publican largas porciones de las bases de datos y se describe la metodología de los REPA (Franklin y Hunt, 1972; Hunt y Franklin, 1973; Hunt y Welch, 1974; Cross et al., 1974 y Hunt y Franklin, 1976).
1974	La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos publica el reporte “ <i>Resource and Environmental Profile Analysis of Nine Beverage Container Alternatives</i> ”, que marca la entrada de los REPA dentro del dominio público (Hunt y Franklin, 1974).
1975	El sector público pierde interés en los REPA pero se realizan muchos estudios confidenciales para compañías particulares (Bider, et al., 1980)
1979	En Reino Unido, Ian Boustead publica el “ <i>Handbook of Industrial Energy Analysis</i> ” (Astrup, et al., 1997).
1980	Se publica un reporte por el <i>Solar Energy Research Institute</i> en los Estados Unidos (Bider, et al., 1980)
1984	El Laboratorio Federal Suizo para el Ensayo y la Investigación de Materiales (EMPA), publica un estudio de materiales de envase y embalaje que introduce un método para agregar los distintos impactos ambientales en un solo índice, el llamado “método de los volúmenes críticos” (Druijff, 1984).

Anexo 3- Cronología del desarrollo del Análisis del Ciclo de Vida. (Continuación)

Año	Acontecimiento
1988	En 1988 la crisis de los residuos sólidos en Estados Unidos y la actividad ambiental en Europa, desencadenan una explosión de actividad en REPA. Al principio, los residuos sólidos son la clave, especialmente el cómo reciclar, la sustitución de materiales y el residuo de productos para reducir la dependencia de los vertederos (Boustead I., 1996).
1990	Primer taller de la Sociedad de Toxicología Ambiental y Química (SETAC), para abrir el debate sobre REPA, uno de los resultados fue la adopción del término “ <i>Life Cycle Assessment</i> ” (LCA), en español Análisis de Ciclo de Vida (ACV) (SETAC, 1990)
1991	EPA inicia actividades en ACV con el interés primario de asistir en el desarrollo de guías y bases de datos para uso del sector público y privado (Hunt y Franklin, 1996)
1992	En 1992 Franklin Associates publica un artículo donde se presenta, completa, por primera vez la metodología de ACV (Hunt et al., 1992). Se crea SPOLD (de <i>Society for the Promotion Of LCA Development</i>), una asociación de 20 grandes compañías en Europa, con el objetivo de promover el desarrollo y la aplicación del ACV.
1993	La EPA publica un documento guía para el inventario (Vigon et al., 1993). SETAC publica el “ <i>Code of Practice</i> ” (Consoli et al., 1993) y “ <i>LCA Sourcebook</i> ” y fomenta numerosos talleres y reuniones que tienen como objetivo alcanzar el consenso en los aspectos metodológicos del Análisis del Ciclo de Vida.
1997	Se publica la serie de normas ISO 14040 referente a ACV.
2000	Se conducen estudios de ACV en todo el mundo, muchos de éstos trabajos son a gran escala y se enfocan en los combustibles fósiles, la energía nuclear y las energías renovables para producir electricidad (ABB, 2002)
2002	Se lleva a cabo la Reunión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo en Johannesburgo y se reconoce al ACV como una herramienta de apoyo para fomentar el cambio en los patrones de consumo y producción (UNEP, 2004)
2002-2008	Se realizan ACV en todo el mundo. Se forman asociaciones de ACV por regiones y desarrollan investigación, aplicación, consultorías y reuniones. Se desarrollan modelos computacionales especializados y genéricos.

Anexo 4- Principales métodos utilizados para evaluar el impacto medioambiental.

Fuente: (Suppen, 2007)

IMPACT 2002 +	• Desarrollado por EPFL en Suiza. • Mejoras para emisiones tóxicas, reuso de los métodos existentes para otros efectos. • Intermedias/finales (no calificación única). • Otras características: – Método completo. – Distingue entre emisiones a largo plazo. – Adaptado en ecoinvent. – Científicos: muchos factores de caracterización disponibles que no se usan en el inventario.
ECO INDICADOR 99	• Desarrollado por Pre con colaboración de científicos suizos. • Tres versiones: jerarquizado, igualitario, individualista. • Difiere en la concepción del mundo y realizar diferentes suposiciones sobre: – Que sustancias incluir. – Horizonte de tiempo. – Substitución de recursos, cuando se agotan. • Otras características: – Incluye descomposición y movimiento de las sustancias en el ambiente. – Uso de suelo, partículas, agotamiento de minerales. – Ponderación por medio de un panel (especialistas en medio ambiente).
CML	• Desarrollado por un científico en Leiden (Holanda). • Recopilación de métodos desarrollados por otros o por el mismo CML en el pasado. • En SimaPro solo la base. Pocas versiones de caracterización de algunos efectos. • Otras características: – No ponderación. – Diferentes puntajes para eco-toxicidad. – Horizonte de tiempo infinito: los metales dan calificaciones muy altas. – No uso de suelo o partículas. – Transparente, buena calidad de los modelos detrás de los cálculos.

Anexo 4- Principales métodos utilizados para evaluar el impacto medioambiental (Continuación).

EPS	• Environmental Priority Strategies en diseño de productos. • Método sueco (Bengt Steen). • Calificaciones solas basadas en valores monetarios. • Otras características: – Las categorías son diferentes a las clásicas: morbilidad, problemas (fastidio). – “salidas diferentes”: efectos positivos para capacidad de producción. – Agua (capacidad de producción) incluida.
ECOPUNTOS	• Método suizo. • Se conoce como <i>knapsack</i>, UBP, <i>ecoscarcity</i>. • Simplificación de Eco-indicador 95, con ponderación basado en políticas suizas (distancia al objetivo). • Método viejo pero muy popular en Suiza (éxito de la simplicidad). • Ecoinvent no está bien caracterizado la categoría de desechos (importante para una calificación final, principalmente por residuos nucleares).
TRACI	• Método desarrollado por la US EPA. • Enfoque en emisiones tóxicas. • Destino de los contaminantes no incluido. • Desarrollado por científicos: no está diseñado para inventarios disponibles en las bases de datos públicas. • Se desarrolla un grupo de normalización. • BEES: caracterización para emisiones de interiores.
EDIP	• Método danés, desarrollado por investigadores ambientales. • Mejora de CML 92. • En desarrollo: – Factores de caracterización específicos y regionales (no apoyados por SimaPro). – Se actualizará (ecoinvent y EDIP).

Anexo 5- Herramientas informáticas para el ACV. **Fuente:** (Aranda, 2006)

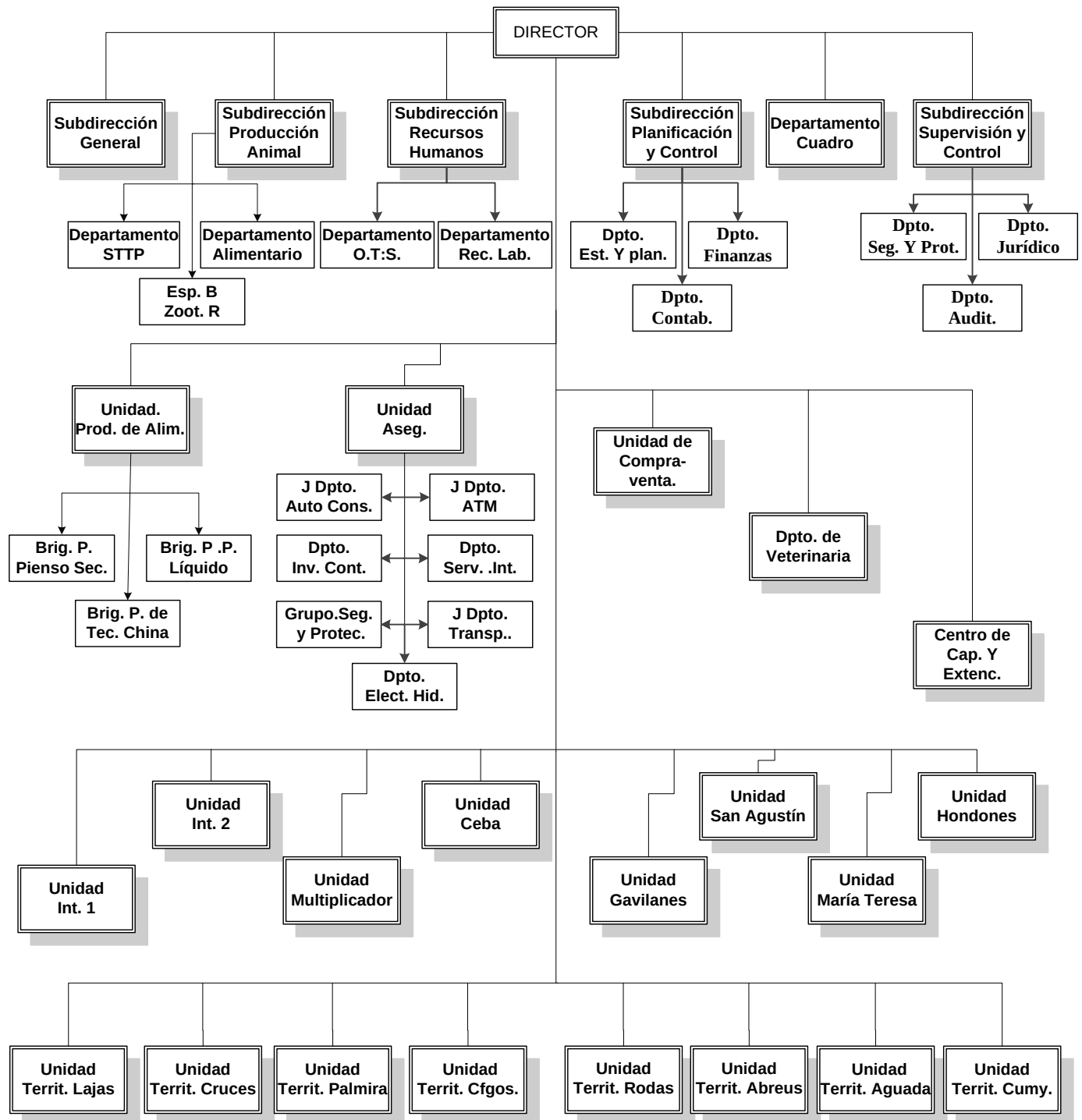
	Compañía desarrolladora	Contacto	Comentarios
Base de Dato			
Buwal 250	Swiss Institute of Packing	www.umwelt-schweiz.ch/buwal/eng/index	Incluye un total de 248 tipos de procesos.
Data Archive	Pré Consultants	http://www.pre.nl	Incluye un total de 383 tipos de procesos.
ECOINVENT	ETH Research Institute Swiss Federal Offices (EMPA, Agroscope, PSI, etc)	www.ecoinvent.ch	Incluye un total de 2700 tipos de procesos.
ETH-ESU	ETH-ESU Research Institute (Zurich)	www.uns.ethz.ch	Incluye un total de 1100 tipos de procesos.
IDEMAT	Delft University of Technology de Holanda	www.io.tudelft.nl	Incluye un total de 508 tipos de procesos.
INDUSTRY DATA	Various internation industrial associations	www.apme.org/lca	Incluye un total de 74 tipos de procesos.
Programas			
Boustead	Boustead Consulting (Reino Unido)	http://www.boustead-consulting.co.uk	Herramienta muy completa indicada para realizar estudios de ACV dentro de la industria química, plásticos, acero, etc.
Eco-it	Pré Consultants(Países Bajos)	http://www.pre.nl	Especialmente indicado para diseñadores de productos y envases. Utiliza el Ecoindicador'99. Su manejo es sencillo.

Anexo 5- Herramientas informáticas para el ACV (continuación).

	Compañía desarrolladora	Contacto	Comentarios
Ecopro		http://www.sinum.com	Permite la realización sencilla de ciclos de vida del producto. Utiliza la base de datos BUWAL.
EcSCAN	TNO Industrial Technology (Países Bajos)	http://www.ind.tno.nl	Puede utilizarse por encargados y técnicos responsables de implantación del ecodiseño de productos. Dispone de varias bases de datos y su manejo es sencillo.
Euklid	Fraunhofer-Institut (Alemania)	http://www.ivv.fhg.de	Programa orientado a estudios de ACV de productos industriales.
Gabi	Universidad de Stuttgart (Alemania)	http://www.gabi-software.com	Además de las posibilidades convencionales de ACV, este programa permite asociar costes a los flujos y realizar análisis económicos.
KCL Eco	Finnish Pulp and Paper Research Institute (Finlandia)	http://www.kcl.fi/eco	Presenta una interfaz gráfica muy completa. Posee los indicadores Ecoindicador95 y DAIA 98 y destaca por sus datos de la industria papelera.
LCAit	ChalmersIndustrietenik (Suecia)	http://www.ekologik.chalmers.se	Su aplicación principal es en el sector de envases y productos de papel.

Anexo 5- Herramientas informáticas para el ACV (continuación).

	Compañía desarrolladora	Contacto	Comentarios
Miet	Universidad de Leiden (Países Bajos)	http://www.leidenuniv.nl/cml/sssp/software	Trabaja con MS Excel y se basa en datos ambientales de Estados Unidos. Tiene carácter gratuito.
Pems	Pira International(Reino Unido)	http://www.piranet.com/pack/lca_software.htm	Puede ser utilizado tanto por principiantes como por expertos en la materia. Su interfaz gráfico es flexible.
Simapro	Pré Consultants(Países Bajos)	http://www.pre.nl	Permite realizar ACVs completos con múltiples métodos de evaluación de impactos. Presenta completas y variadas bases de datos. Adecuada para departamentos de diseño o I+D.
Team	Ecobilan(Francia)	http://www.ecobilan.com	Herramienta muy completa, flexible y potente aunque algo más compleja de utilizar. Permite introducir información relativa a costes.
Umberto	Umbertolfeu-Institut (Alemania)	http://www.umberto.de	Ofrece datos de gran calidad y resultados transparentes. Las librerías de datos son completas y flexibles. Indicado para realizar eco-balances empresariales.
Wisard	PricewaterhouseCoopers (Francia)	http://www.pwcglobal.com	Indicado para análisis del impacto económico y medioambiental de residuos sólidos municipales.

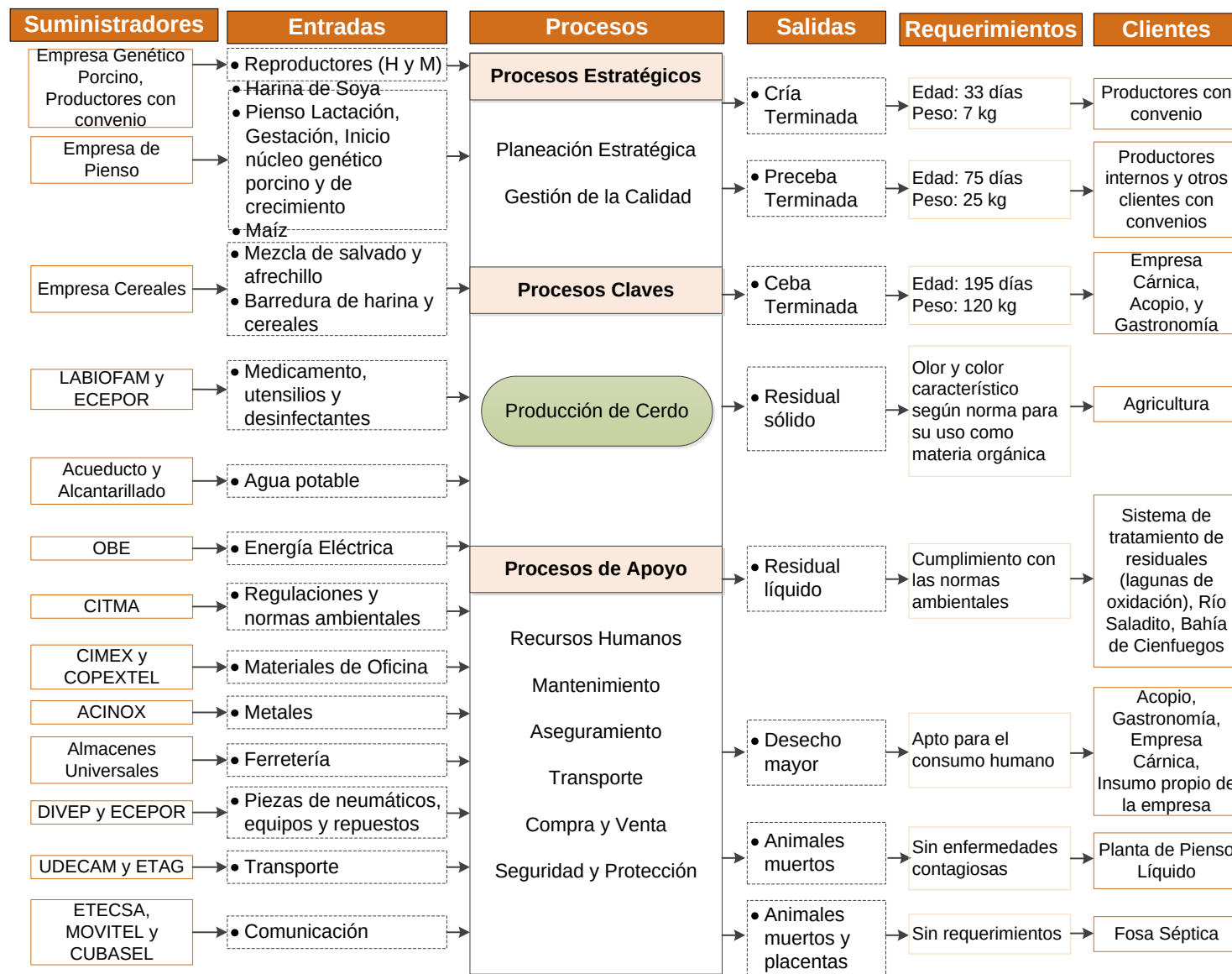


Anexo 7- Metodología de cálculo de la huella ecológica **Fuente:** (Doménech, 2006).

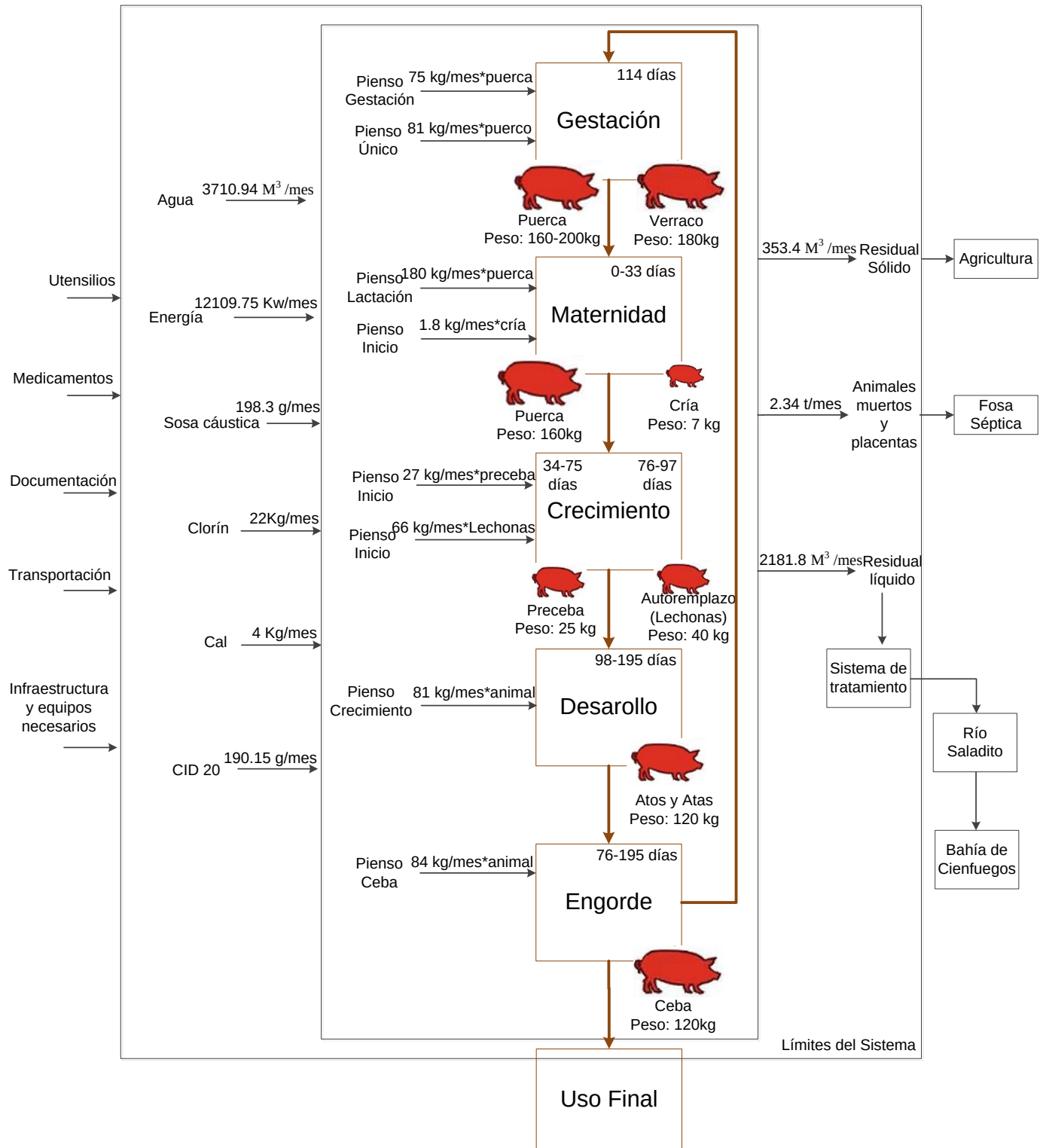
Cálculo de la Huella Ecológica		
	Sub-huella energética (SHENERGIA)	
El cálculo de la sub-huella energía, se desglosa en el consumo de todos los portadores energéticos que lleva el ciclo de vida de la producción porcina en las unidades pertenecientes a Palmira de la Empresa Porcina de Cienfuegos, con los límites que fueron definidos. Al determinarse los mismos, se llevan a toneladas equivalentes a fin de unificar la unidad de energía y se determina la cantidad de CO₂ emitido a partir de la siguiente fórmula:		
Sub-huella ENERGIA (ha/T) =	$\sum \frac{\left[\left(\frac{T_c}{P_b}\right) \times V_c\right] \times 4.1868 \times 10^{-6}}{F_c}$	Donde:
		• Tc: Total de toneladas consumido en el período (t/año).
		• Pb: Producción Bruta del período [(T)/año].
		• Fc: Factor de conversión de energía a hectáreas absorbidas de CO2 (71Gj requieren 1ha productiva)
Nota 1: Utilizando mejores estimaciones del <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (IPCC) para la productividad forestal, la absorción de carbono y los factores de emisión de carbono, y asumiendo un tiempo de maduración forestal (ciclo de cosecha) de 40 años, se fijó la media de absorción de carbono en 1,42 tC/ha/año ó 5,21 tCO2/ha/año. Parece una estimación prudente y adecuada, teniendo en cuenta que algunos estudios realizados por la Universidad de Vigo, con eucaliptos, arrojan una tasa de absorción de hasta 25 tCO2/ha/año (Oliveros, et al., 2004).		
Nota 2: Los combustibles líquidos tienen un factor de emisión de carbono de 20 tC/Tj, por lo que el ratio energía/hectáreas es de 71 Gj/ha/año (1,42/0,020= 71). Es decir, una hectárea de bosque puede secuestrar anualmente las emisiones de CO2 generadas por el consumo de 71 Gigajoules de combustible líquido.		
	Sub-huella de necesidades de tierras (SHTIERRA)	
Para el cálculo de esta huella se tuvo en cuenta la cantidad de tierra productiva necesaria para generar una tonelada del proceso. Por lo tanto la expresión para calcular la sub-huella tierra quedaría de la siguiente forma:		

Sub-huella necesidades de TIERRA (ha/T) =	$\frac{At}{Pb}$	Donde: • At: Área total de la unidad (ha).
	Sub-huella de los insumos (SHINSUMOS)	
En esta sub-huella se tuvieron en cuenta la intensidad energética de los distintos insumos que tiene la producción porcina a partir de las recomendaciones emitidas por Juan Luís Doménech Quesada de los insumos y servicios que aparecen en el Anexo No.20 B) quedando la expresión del cálculo de esta huella de la siguiente manera:		
Sub-huella INSUMOS (ha/T) =	$\sum \frac{\left(\frac{Clx}{Pb}\right) \times IE}{Fc}$	Donde: • Clx: Consumo total del Insumo x para el período de la investigación (t/año). • IE: Intensidad Energética del Insumo x según Doménech Quesada (Gj/ton).
	Sub-huella de superficie construida (SHSUPFCONST)	
Esta huella se calcula a partir de la división del área total construida de la entidad entre la producción bruta generada en el período que se encuentra enmarcada la investigación. Su expresión quedaría de la siguiente manera:		
Sub-huella SUPERFICIE CONSTRUIDA (haconst/T) =	$\frac{Sc}{Pb}$	Donde: • Sc: Superficie total construida del área total de la entidad (ha).
	Cálculo de la Huella Ecológica Corporativa	
Para el cálculo de este indicador se adicionan cada una de las sub-huellas antes calculadas. La expresión aritmética queda conformada de la siguiente manera:		
Huella Ecológica Corporativa (ha/T/año)= (SHENERGIA + SHTIERRA + SHINSUMOS + SHSUPFCONST).		
Este indicador permite visualizar el comportamiento de cada una de las sub-huellas y el porcentaje que representan del total en aras de sectorizar y enfocar de manera oportuna y prioritaria cualquier plan o acción de mejora en el proceso, con un marcado sentido de preservación y sustentabilidad económica y ambiental.		

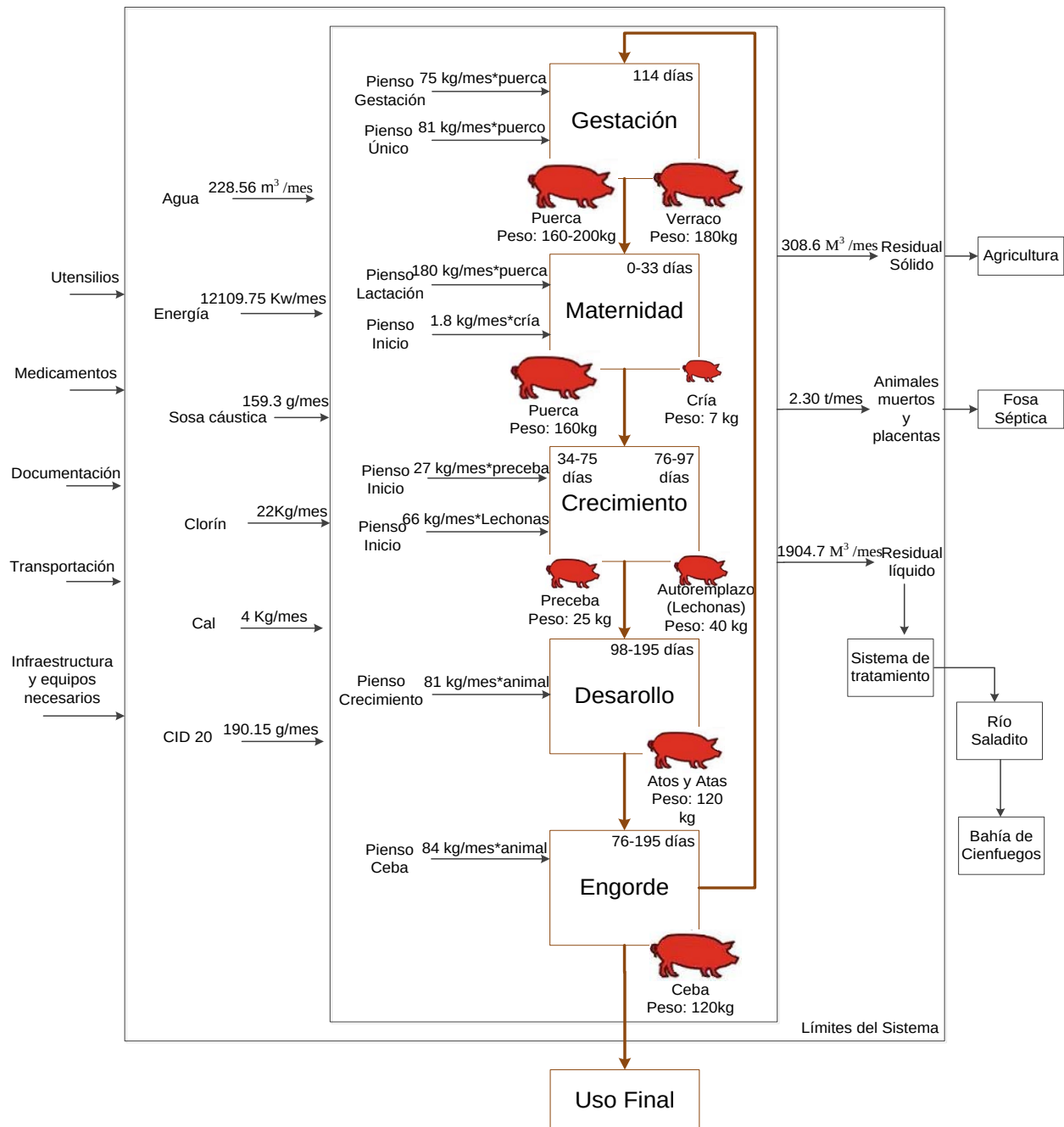
Anexo 8- Mapa de proceso de las unidades porcinas.



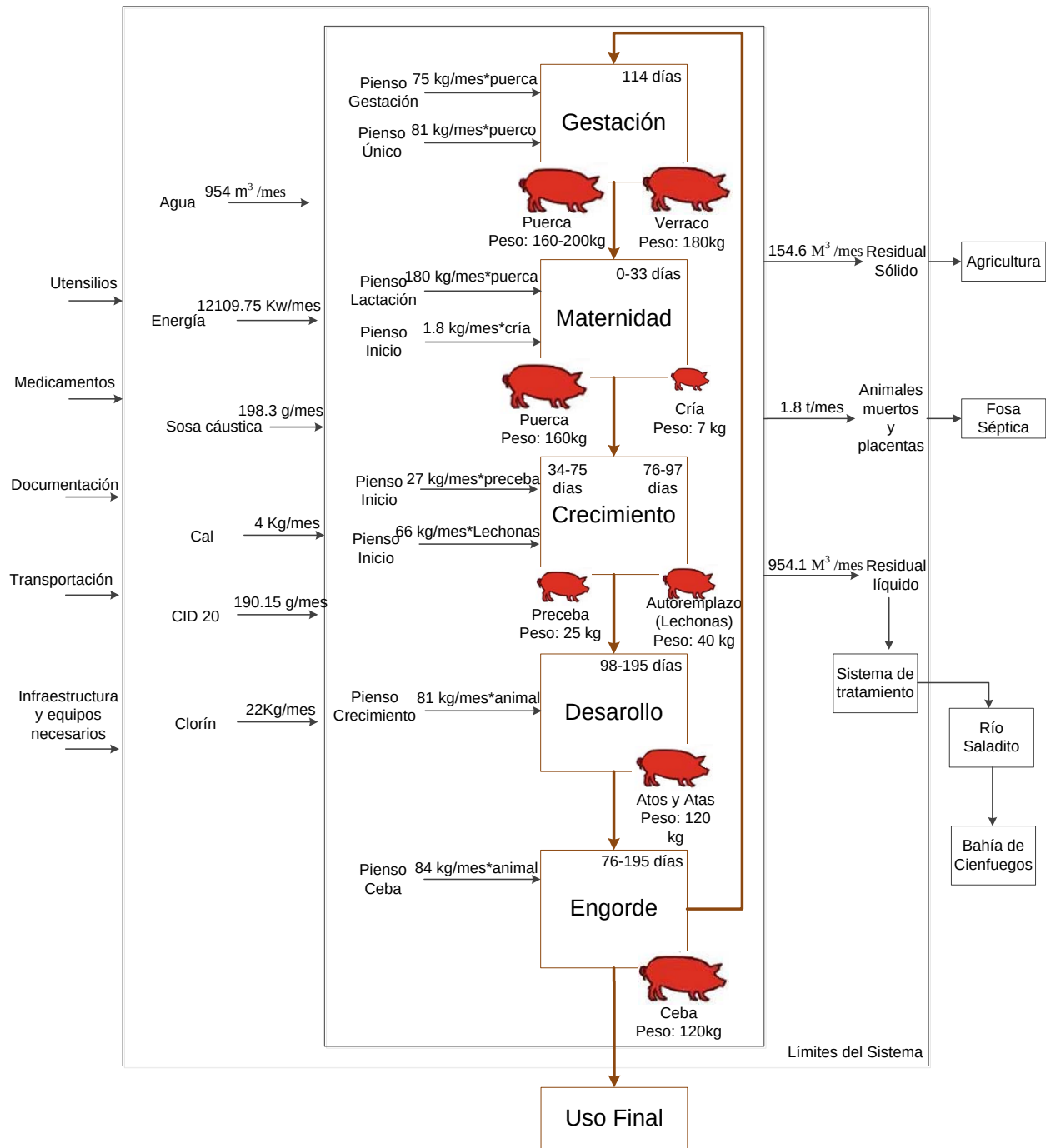
Anexo 9- Representación del ciclo de vida de la producción porcina en el Integral I.



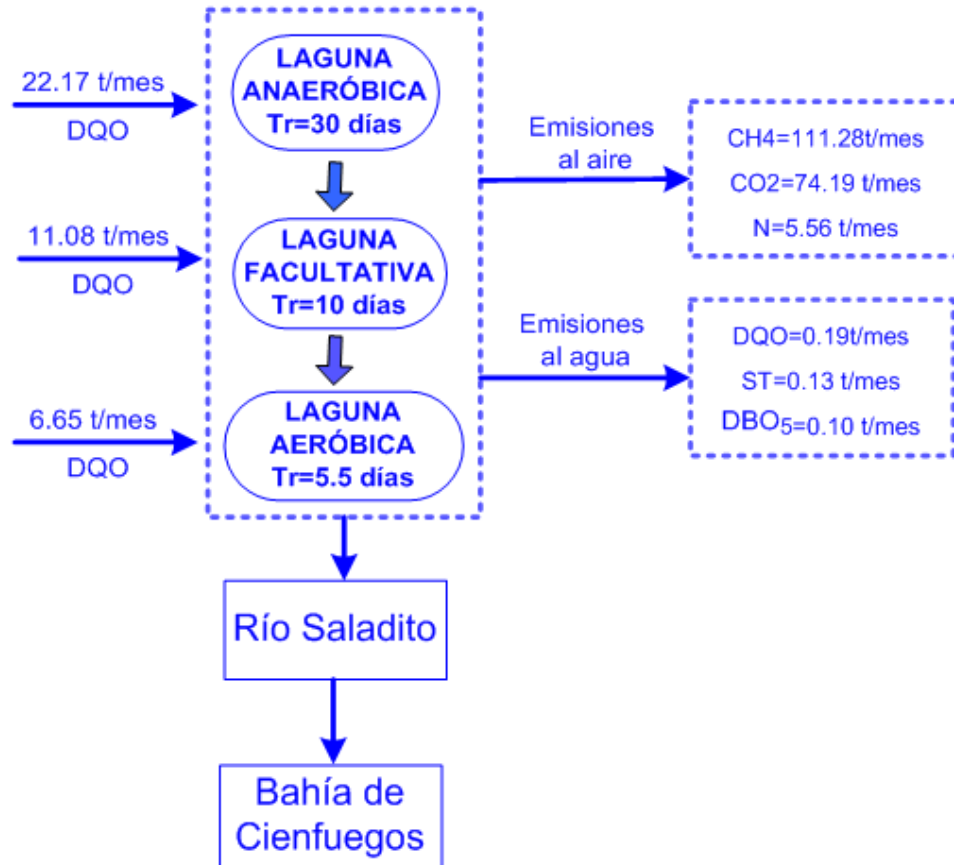
Anexo 10- Representación del ciclo de vida de la producción porcina en el Integral II.



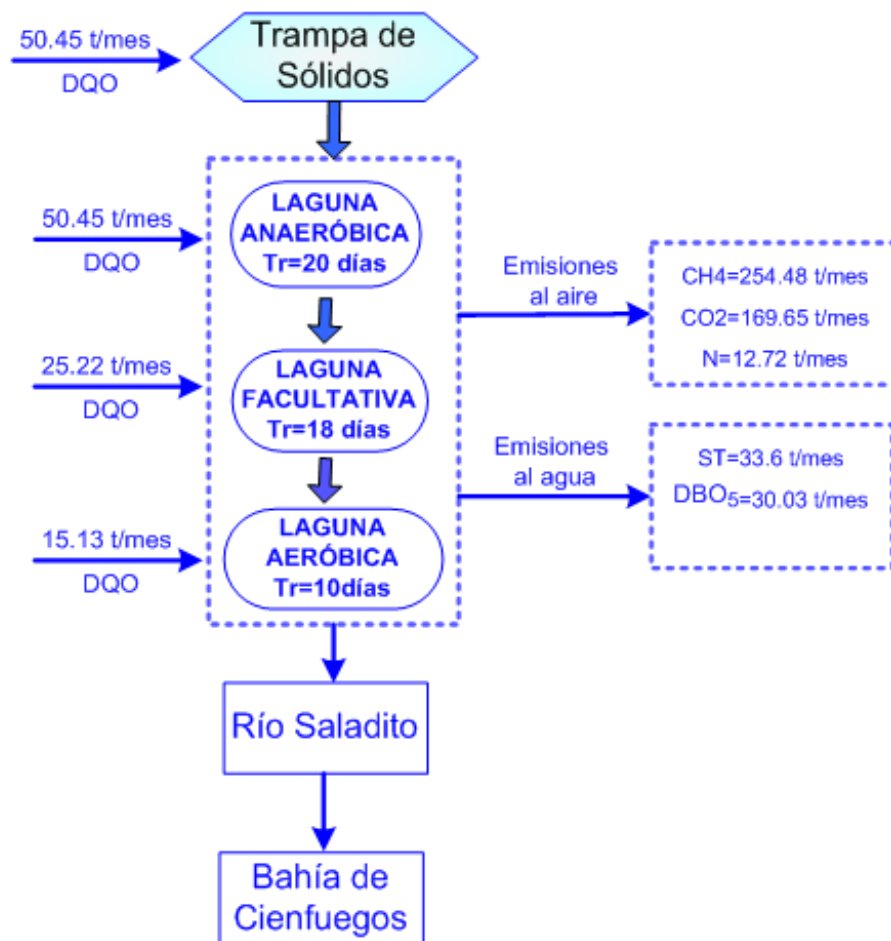
Anexo 11- Representación del ciclo de vida de la producción porcina en el Multiplicador.



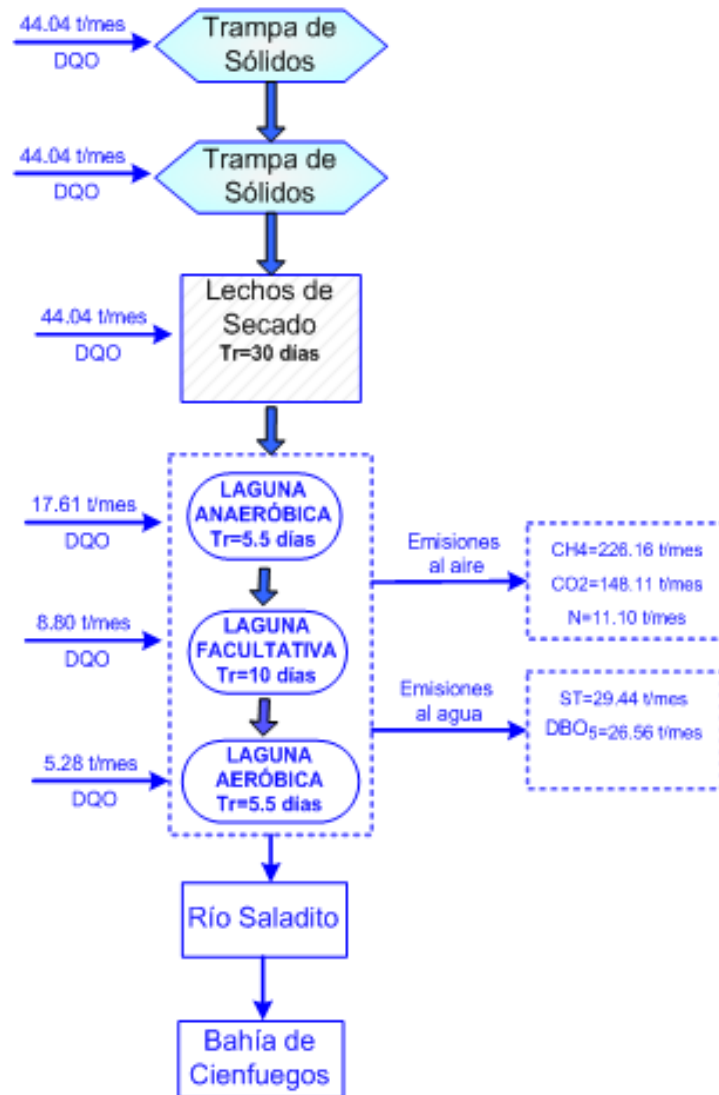
Anexo 12- Sistema de tratamientos Multiplicador.



Anexo 13- Sistema de tratamientos Integral I.



Anexo 14- Sistema de tratamientos Integral II.



Anexo 15- Categorías de impacto y daño por el método Impact 2002+ para una (t) de puerco.

Categoría de impacto	Unidad	Puerco
Calentamiento Global	Pt	0.7907565
Respiración de Sustancias Inorgánicas	Pt	0.0355752
Energía No-Renovable	Pt	0.0216886
Agente No-Carcinogénico	Pt	0.0022162
Respiración de Sustancias Orgánicas	Pt	0.0018298
Acidificación/Nutrificación Terrestre	Pt	0.0018283
Ecotoxicidad Terrestre	Pt	0.0007699
Agente Carcinogénico	Pt	7.76E-05
Uso de la Tierra	Pt	4.79E-05
Ecotoxicidad Acuático	Pt	3.24E-05
Deterioro de la Capa de Ozono	Pt	1.38E-05
Radiación Ionizante	Pt	8.39E-06
Extracción de Minerales	Pt	1.33E-06
Total	Pt	0.8548461

Categoría de Daño	Unidad	Puerco
Cambio Climático	Pt	0.7907565
Salud Humana	Pt	0.039721
Recursos	Pt	0.02169
Calidad del Ecosistema	Pt	0.0026786
Total	Pt	0.8548461

Anexo 16- Categorías de impacto en las unidades porcinas por el método Impact 2002+ para una (t) de puerco.

Categoría de impacto	Unidad	Integral I	Integral II	Multiplicador
Calentamiento Global	Pt	206.4334	179.8123	90.53371
Respiración de Sustancias Inorgánicas	Pt	9.059226	7.473977	4.073
Energía No-Renovable	Pt	4.785159	4.053284	2.48313
Agente No-Carcinogénico	Pt	0.579621	0.502461	0.253734
Respiración de Sustancias Orgánicas	Pt	0.513544	0.416825	0.209323
Acidificación/Nutrificación Terrestre	Pt	0.475185	0.41455	0.209491
Ecotoxicidad Terrestre	Pt	0.204524	0.167526	0.088151
Agente Carcinogénico	Pt	0.021117	0.01723	0.008889
Uso de la Tierra	Pt	0.014037	0.011319	0.005489
Ecotoxicidad Acuático	Pt	0.009414	0.0076	0.003709
Deterioro de la Capa de Ozono	Pt	0.003615	0.002968	0.00158
Radiación Ionizante	Pt	0.002453	0.001979	0.000961
Extracción de Minerales	Pt	0.00039	0.000314	0.000152
Total	Pt	222.1017	192.8823	97.87132

Anexo 17- Encuesta para la evaluación de los criterios de los expertos por el método Delphi.

Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”

Usted ha sido seleccionado como posible experto para ser consultado respecto a temas relacionados a la evaluación de impacto ambiental de la producción porcina. Estos resultados contribuirán al desarrollo de una tesis de diploma de Ingeniería Industrial, por lo que sería de gran ayuda que colaborara con la información que se le pide a continuación.

Centro Laboral: _____ **Cargo:** _____

Nombre y Apellidos: _____

Grado Científico/Académico: _____

Categoría Ocupacional: _____ **Sexo:** F ___ M ___

Años de experiencia como trabajador: _____ **Tiempo de Trabajo en la Unidad:** _____

Antes de realizarse la consulta correspondiente, como parte del método empírico de investigación “Consulta de Expertos”, a los efectos de reforzar la validez del resultado de la consulta que realizaremos. Por esta razón le rogamos que responda las siguientes preguntas de la forma más objetiva que le sea posible.

Marque con una cruz (X) el valor que se corresponda con el grado de conocimiento que usted posee, considere que la escala que le presentamos es ascendente, es decir, el conocimiento sobre el tema referido va creciendo desde el 0 (ninguno) hasta el 10 (totalmente).

Grado de conocimiento que tiene sobre:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Producción Porcina											
Sistema de Tratamiento de Residuales											
Gestión Ambiental											
Contaminación Ambiental											

Realice una autoevaluación del grado de influencia que cada una de las fuentes que le presentamos a continuación ha tenido en su conocimiento y criterios sobre el tema al análisis de proyectos de inversión asociado a la actividad porcina.

Para ello marque con una cruz (X), según corresponde en Alto (A), Medio (M), Bajo (B).

Fuentes de Argumentación	Grados de influencia de cada una de las fuentes de su conocimiento y criterios		
	Alta	Media	Baja
Análisis teórico realizado por usted			
Experiencia adquirida			
Trabajos consultados de autores nacionales			
Trabajos consultados de autores internacionales			
Conocimiento propio sobre el tema			
Intuición			

GRACIAS POR SU COOPERACIÓN

Anexo 17- Encuesta para la evaluación de los criterios de los expertos por el método Delphi (Continuación).

Este cuestionario fue diseñado para aplicar el Método Delphi (método de expertos) con el objetivo de evaluar los impactos ambientales asociados a la Producción Porcina, con el propósito de evaluar la incidencia de los mismos.

Marque con una cruz (X) para evaluar los aspectos que se muestran a continuación: no adecuado (1), poco adecuado (2), adecuado (3), bastante adecuado (4), muy adecuado (5).

MATERIAS PRIMAS Y MATERIALES	1	2	3	4	5
Estado técnico de funcionamiento se encuentra la unidad.					
Estado constructivo y técnico de las naves.					
Sistema de desinfección sanitaria implementado en la unidad según plantean las normas.					
Sistema de evaluación de la calidad de las materias primas.					
Limpieza de las instalaciones, calles, entre calles y área de trabajo.					
Control sanitario de las áreas del proceso.					
Control sanitario de la fosa séptica según lo establecido por el IMV.					
Disposición de todos los residuos y desperdicios orgánicos.					
AGUA					
Control del consumo de agua y cumplimiento con la norma para este tipo de instalación.					
Estado de las instalaciones hidrosanitarias.					
ENERGÍA					
Plan destinado al ahorro de energía.					
Control del consumo de energía en la unidad.					
SISTEMAS DE TRATAMIENTOS RESIDUALES LÍQUIDOS Y SÓLIDOS					
Frecuencia con la que se realiza la limpieza de las lagunas.					
Estado en el que se encuentra las lagunas.					
Frecuencia con la que se caracterizan las aguas residuales.					
Resultados de las inspecciones realizadas por los órganos reguladores.					
Estado en el que se encuentran las conexiones al sistema de tratamiento de residuales líquidos.					

Estado de las trampas de sólidos que eviten que estos lleguen al recolector de las aguas residuales.					
Sistema de tratamiento de las aguas residuales.					
Cumplimiento de las normas y leyes ambientales vigentes en cuanto al tratamiento de residuales.					
Manejo de los desechos orgánicos de la producción.					
Sistema de conducción de residuales líquidos hasta el sistema de tratamiento.					

Está incluida, dentro de los planes de inversión, la mejora del sistema de tratamientos.

Si ____ No ____ Desconozco ____

Se recibe asesoramiento en temas de gestión ambiental.

Si ____ Por parte de quién: _____ No ____

La empresa tiene en proyecto la instalación de una Planta de Biogás.

Si ____ No ____ Desconozco ____

Considera que sería factible la instalación de una Planta de Biogás para el aprovechamiento de los residuos, la producción de energía y por consiguiente la disminución del impacto ambiental.

Si ____ No ____ ¿Por qué?

Indique algunas medidas que se pueden aplicar para disminuir el impacto ambiental de la empresa.

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

GRACIAS POR SU COOPERACIÓN

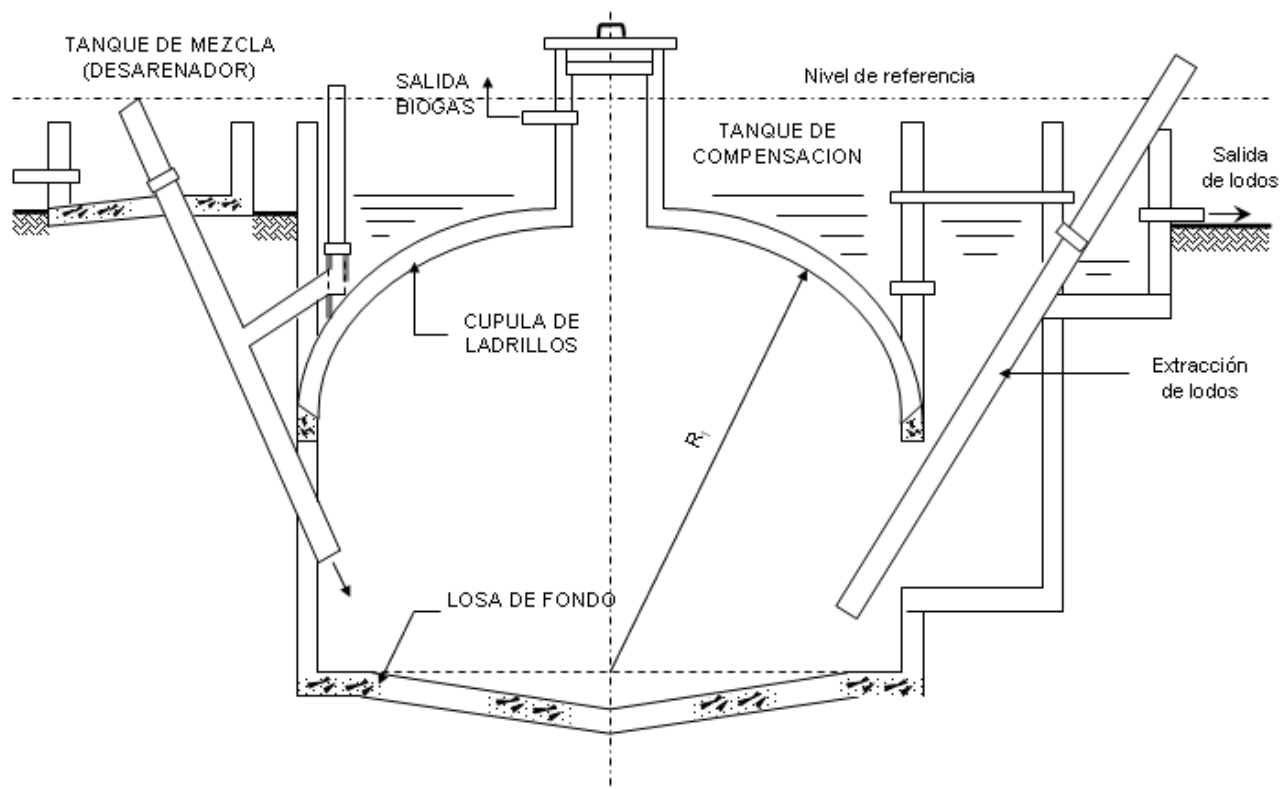
Anexo 18- Análisis de Modo y Efectos de Fallos.

No.	Fallos	Efectos	Severidad	Causas Potenciales	Frecuencia Ocurrencia	Control	Detección Causa	RPN
1	No se realiza la limpieza de las lagunas	Generación de malos olores, gases a la atmósfera y contaminación de los cuerpos receptores	9	Carencia de equipos de limpieza	6	Administrador de la unidad	8	432
2	No aprovechamiento de los residuos	Aumento de los niveles de emisiones de CH ₄ , CO ₂ , a la atmósfera e incremento del efecto invernadero del planeta	8	Existencia de un sistema de tratamientos con lagunas de estabilización y no con digestores de biogás	7	Administrador de la unidad	9	504
3	No se controla el consumo de la energía eléctrica	Mayor gastos de combustibles fósiles que afectan al aire	8	No se cuenta con contadores	5	Administrador de la unidad	5	200
4	No se cuenta con trampas de sólidos eficientes	Mayor carga contaminante a las lagunas.	7	No hay presupuesto	6	Administrador de la unidad	3	126
5	No se controla el agua.	Gran cantidad de residuales líquidos.	8	No se cuenta con contadores	4	Administrador de la unidad	3	96
6	Mal estado de las conexiones hacia los tratamientos	Vertimientos en los suelos, se incumple con los tiempos de retención calculados	7	Incumplimiento de los proyectos técnicos ejecutivos existentes.	5	Administrador de la unidad	7	245

Anexo 19- Costos por Objeto de obra de un digestor de 90m³.

Gastos por Operaciones	\$
Gastos Directo de Materiales	\$5940.05
Gastos Directo de Mano de Obra	\$1587.83
Gastos Directo de Equipos	\$125.38
Total de Costos Directos	\$7659.86
Otros Gastos Directos de Obra	\$594.67
Gastos Generales de Obra	\$5,082.50
Total Gastos Directos de Producción	\$9212.01
Gastos Indirectos de Obra	\$1142.29
Total de Gastos Indirectos de Producción	\$1142.29
Presupuestos Independientes	\$0.00
Subtotal de Gastos	\$10354.30
Costo Total	\$10354.30
Utilidad	\$881.53
Precio del Servicio de Construcción	\$11235.83
Presupuesto de Equipos	\$0.00
Total Precio Construcción	\$11235.83

Anexo 20- Esquema del Biodigestor de cúpula fija de 90m³.



Anexo 20- Esquema del Biodigestor de cúpula fija de 90m³ (Continuación).

