



**UNIVERSIDAD DE SANCTI SPÍRITUS “JOSÉ MARTÍ PÉREZ”**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

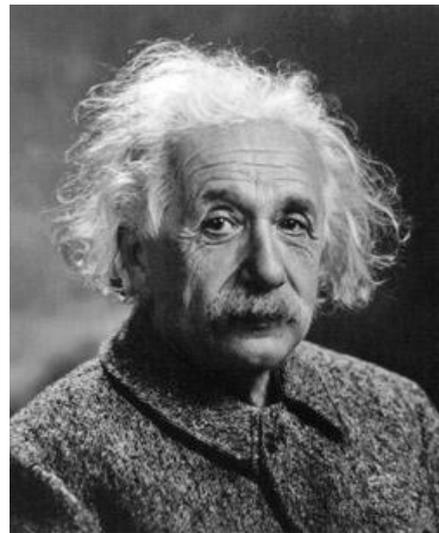
Tesis para optar por el Título de Máster en Eficiencia Energética

**Impacto Ambiental de Alternativas de Producción Porcina  
existentes en la provincia de Sancti Spíritus**

**Autor:** Ing. Anisley Sarduy Valle

**Tutor:** Dr.C. Ernesto Luis Barrera Cardoso

**Sancti Spíritus, febrero del 2016**



*"No podemos engañar a la naturaleza, pero sí podemos ponernos de acuerdo con ella".*

*Albert Einstein*

- ♥ *A toda mi familia por apoyarme siempre.*
- ♥ *A mi mamá por ser mi guía y apoyo.*
- ♥ *A Darién por estar siempre a mi lado, ayudándome.*
- ♥ *A mi tutor Ernesto por su dedicación y apoyo incondicional.*
- ♥ *A todos los que de una forma u otra contribuyeron a la realización del presente trabajo.*

*A todos... Muchas Gracias*

♥ *A los que me acompañaron, a los que no pudieron hacerlo, y a los que creyeron que si podía lograrlo.*

En la medida en que se han desarrollado las actividades humanas, se han superado las expectativas del hombre, ya que han sido necesarias para su supervivencia, ocasionando en gran medida, problemas medioambientales, producto a emisiones al ambiente, por incorrecto manejo de los recursos; por lo que se ha creado una conciencia de preservar el Medio Ambiente. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el impacto ambiental de ciclo de vida de las alternativas de producción porcina en tres centros: Genético, Multiplicador y de Producción, existentes en la provincia de Sancti Spíritus. Para cumplir este propósito se utilizó la metodología Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y mediante el software libre OpenLCA versión 1.3.1 (Base de Datos ecoinvent 2.2) y la metodología ReCiPe con categorías de impactos finales en una perspectiva jerárquica, se determinó el impacto en la "Calidad del Ecosistema", la "Salud Humana" y los "Recursos Fósiles". Para lo que se definió el objetivo y alcance del estudio y se elaboró el inventario de ciclo de vida para las alternativas de producción porcina existentes en Sancti Spíritus y valorándose alternativas de mejoras ambientales. Los resultados mostraron que los Centros Multiplicadores y de Producción generan el mayor impacto ambiental siendo dos veces mayor que el Genético, donde las mayores afectaciones ocurren a las categorías de daño "Salud Humana" y "Calidad del Ecosistema" y que los consumos de soya y maíz contribuyen de manera notable a los impactos totales. Las propuestas de mejora ambiental mostraron que el mayor potencial está en la reducción de las emisiones asociadas a los procesos productivos de los centros.

To the extent that human activities have developed, they have exceeded the expectations of man, as they have been necessary for survival, resulting largely environmental issues, product releases to the environment, due to incorrect handling of resources; so it has created an awareness of preserving the environment. This paper aims to assess the environmental impact of the life cycle of alternative pig production at three centers: Genetic, Multiplier and Production, existing in the province of Sancti Spiritus. To fulfill this purpose the methodology life-cycle assessment (LCA) is used by the free software and OpenLCA version 1.3.1 (Database ecoinvent 2.2) and methodology with categories ReCiPe final impacts in a hierarchical perspective, it was determined the impact on ecosystem quality, human health and fossil resources. For what the purpose and scope of the study was defined and the life cycle inventory for existing alternative swine production in Sancti Spiritus and valuing environmental improvements alternative was developed. The results showed that Multipliers and Production Centers generate the greatest environmental impact being twice as large as the genetic, where the greatest damage occurring to the categories of damage human health and ecosystem quality and consumption of soy and corn contribute significantly to the total impacts manner. Environmental improvement proposals showed that the greatest potential is in reducing emissions associated with the production processes of the centers.

**Índice**

Introducción .....	1
Capítulo 1. Marco Teórico .....	6
<b>1.1 Surgimiento de la Producción Porcina</b> .....	6
<b>1.2 Producción Porcina en el mundo</b> .....	6
<b>1.3 Producción Porcina en Cuba. Historia</b> .....	10
1.3.1 Desarrollo de la Producción Porcina .....	12
1.3.2 La Producción Porcina en Sancti Spíritus.....	15
<b>1.4 Estudios del Impacto Ambiental de la Producción Porcina</b> .....	16
1.4.1 Impacto Ambiental de la Producción Porcina.....	16
1.4.2 Residuos de la Producción Porcina.....	17
<b>1.5 Herramienta de Análisis de Ciclo de Vida</b> .....	18
1.5.1 Análisis de Ciclo de Vida (ACV).....	19
1.5.1.1 Características fundamentales de Análisis de Ciclo de Vida .....	19
1.5.1.2 Metodología del Análisis de Ciclo de Vida .....	20
<b>1.6 Conclusiones Parciales</b> .....	24
Capítulo 2. Aplicación del Análisis de Ciclo de Vida en los Centros de Producción Porcina en la Provincia de Sancti Spíritus .....	25
<b>2.1 Introducción</b> .....	25
<b>2.2 Aplicación de la metodología de análisis del ciclo de vida</b> .....	25
2.2.1 Definición de objetivo y alcance del estudio .....	25
2.2.2 Descripción del proceso de producción porcina en la provincia de Sancti Spíritus .....	25
<b>2.3 Conclusiones Parciales</b> .....	34
Capítulo 3. Evaluación del Impacto Ambiental de la Producción Porcina .....	35
<b>3.1 Impacto ambiental por etapas en cada centro</b> .....	35
<b>3.2 Impacto en la "Calidad del Ecosistema", la "Salud Humana", los "Recursos Fósiles" e</b>	

---

<b>"Impacto Total" de los Centros Genético, Multiplicador y de Producción .....</b>	<b>37</b>
<b>3.3 Contribución de los flujos de entrada a los impactos totales en los Centros Genético, Multiplicador y de Producción.....</b>	<b>39</b>
<b>3.4 Contribución de los flujos por etapas en cada centro .....</b>	<b>41</b>
<b>3.5 Evaluación de alternativas de mejoras .....</b>	<b>43</b>
<b>3.6 Conclusiones Parciales .....</b>	<b>46</b>
Conclusiones Generales .....	47
Recomendaciones .....	48
Referencias Bibliográficas.....	49
Anexos .....	52

## **Índice de Tablas**

Tabla 1. Estructura de alimentos consumidos por la producción porcina especializada en Cuba en los años 1985 y 1990 .....	12
Tabla 2. Producción Porcina 1989 y 2003 .....	13
Tabla 3. Producción de carne de cerdo (2012-2014) .....	15
Tabla 4. Proteínas y carbohidratos necesarios por etapa .....	31
Tabla 5. Composición de la carne y los huesos del cerdo .....	32
Tabla 6. Características del maíz y la soya .....	39

## **Índice de Figuras**

Figura 1. Tipos de Centros de Producción Porcina .....	3
Figura 2. Producción Mundial de Carne de Cerdo (2000-2012).....	9
Figura 3. Organización del Sistema de Producción Porcina en Cuba. ....	14
Figura 4. Fases de un ACV.....	20
Figura 5. Proceso productivo en el Centro Genético .....	28
Figura 6. Proceso productivo en el Centro Multiplicador .....	29
Figura 7. Proceso productivo en el Centro de Producción .....	30
Figura 8. Impacto Total de cada una de las etapas para los Centros Genético (A), Multiplicador (B) y de Producción (C).....	36
Figura 9. Impacto en la "Calidad del Ecosistema", la "Salud Humana", los "Recursos Fósiles" e "Impacto Total" de los Centros Genético, Multiplicador y de Producción.....	38
Figura 10. Contribución de los flujos de entrada a los impactos totales en los Centros Genético (A), Multiplicador (B) y de Producción (C) .....	40
Figura 11. Contribución de los flujos de entrada y salida para cada una de las etapas (crías, preceba, lechones, cochinos, reproductores y ceba) en los Centros Genético, Multiplicador y de Producción .....	42
Figura 12. Impacto en la "Calidad del Ecosistema", la "Salud Humana", los "Recursos Fósiles" e "Impacto Total" de los Centros Genético (A), Multiplicador (B) y de Producción (C) cuando se evalúa las alternativas A1, A2, A3 y A4 .....	44
Figura 13. Contribución de los flujos de entrada a los impactos totales en los Centros Genético (A), Multiplicador (B) y de Producción (C) cuando se evalúa la alternativa A4 .....	45

### **Introducción**

La carne de cerdo es la carne de mayor consumo en el mundo. La importancia nutricional, económica y social de esta carne es innegable. El cerdo se encuentra hoy entre los animales más eficientemente productores de carne; sus características particulares, como gran precocidad y prolificidad<sup>1</sup>, corto ciclo reproductivo y gran capacidad transformadora de nutrientes, lo hacen especialmente atractivo como fuente de alimentación (Benítez, 2000).

Durante muchos años la carne de porcino fue considerada como un alimento poco nutritivo, “pesado”, y en general, asociado con enfermedades y parásitos, pero en los últimos 25 años la carne de cerdo ha reducido 31% el contenido de grasa, 14% en calorías y 10% en colesterol, producto del avance tecnológico en la porcicultura mundial (Navarrete, 2012). Además, el control zoonosario de la carne de cerdo ha incrementado la percepción de salubridad e inocuidad de la carne. Así, la carne de cerdo se ha posicionado como una fuente nutricional valiosa, de gran calidad y sabor, lo cual ha generado avances en la producción y consumo mundial de la carne (Navarrete, 2012).

La reestructuración del sector porcino que ha supuesto concentración e intensificación de la producción cárnica, trajo como consecuencia la acumulación de grandes cantidades de materia orgánica (deyecciones y otros residuos) en determinadas zonas de la geografía con gran carga contaminante que devino al progresivo deterioro medioambiental de las zonas de producción (Martínez del Olmo y Fz-Polanco Fz de Moreda, 2008).

Por ejemplo, en Argentina la producción porcina nacional tuvo un vuelco cualitativo donde no aumentó el número de productores, pero si se modificó la forma de producir carne. Esto significó que las producciones de pequeña escala comenzaron a incorporar mayor tecnología y a aumentar el número de madres productivas, alentando al paso de sistemas al aire libre a sistemas mixtos (AEGA; INTA, 2011). Este cambio cualitativo generado, pone en manos de los productores un cambio tecnológico muy importante que incluye aprender a manejar y a reutilizar los efluentes que generan este tipo de tecnologías abocadas a la producción, los cuales sin un tratamiento adecuado, pueden resultar en una potencial fuente de polución, con el consecuente deterioro de la salud del medio ambiente (AEGA; INTA, 2011).

---

<sup>1</sup> prolificidad. Es la media de los lechones nacidos totales (vivos o muertos) por parto.  
[https://www.3tres3.com/diccionario-porcino/P/prolificidad\\_252](https://www.3tres3.com/diccionario-porcino/P/prolificidad_252).

En el contexto actual de toma de conciencia acerca de la degradación de los recursos ambientales y crisis energética, emerge la necesidad de repensar las relaciones entre las actividades productivas y el medio ambiente. Es así como el tratamiento de los desechos porcinos reviste cada día mayor importancia debido a la dimensión del problema que representa, no sólo por el aumento de los volúmenes producidos, generados por una mayor intensificación de las producciones, sino también por la degradación de los recursos agua, suelo y aire, la proliferación de plagas sinantrópicas (moscas, roedores, entre otras) y la generación de olores indeseables producidos cuando no poseen una correcta disposición. Es por este motivo que el manejo de los residuales porcinos es un aspecto fundamental en la sustentabilidad ambiental de los sistemas de producción animal intensivos (FAO; INTA, 2012).

Según Mederos y Col. (2009) a partir del año 1997 en Cuba se ha desarrollado la producción porcina en dos fases (promovido de forma conjunta por el Ministerio de la Agricultura y la Asociación Nacional de Agricultores Pequeños) entre las Empresas Porcinas del Grupo de Producción Porcina (GRUPOR) y los productores fundamentalmente del sector cooperativo y campesino. Este esfuerzo se ha realizado a través de convenios mutuamente beneficiosos a partir de los Servicios Técnicos Territoriales Porcinos, las Direcciones Municipales Porcinas y más recientemente las Unidades Territoriales Porcinas.

La generalización de este sistema productivo ha influido tanto en el crecimiento sostenido de la producción de carne de cerdo durante los últimos diez años (4,6 veces superior) como en la mejora del desempeño de esta cadena productiva.

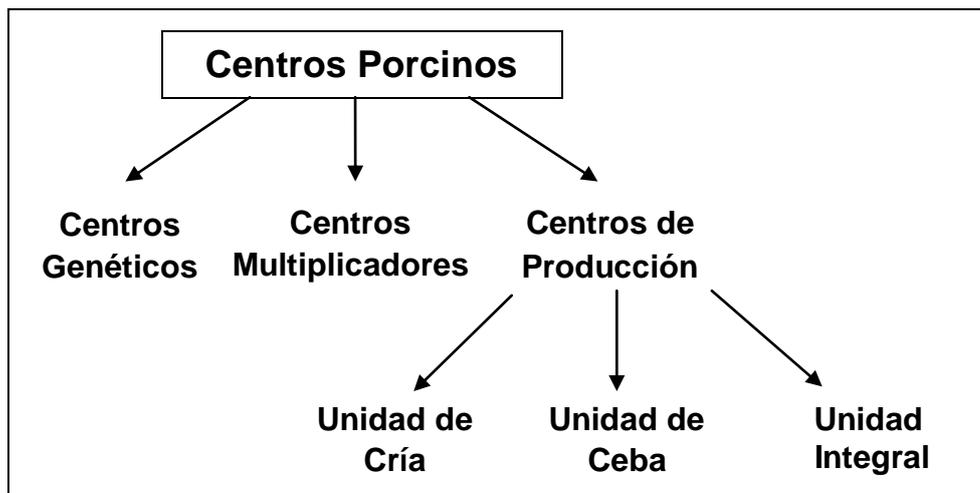
El modelo cubano vigente y en vías de desarrollo para la producción porcina que se experimenta en el Instituto de Investigaciones Porcinas de Cuba, experimenta un sistema integrado por una amplia política de reciclaje, a través de la recuperación de todo tipo de desperdicios y subproductos del consumo humano y mediante el tratamiento de residuales provenientes de la crianza porcina, con la finalidad de proteger el medio ambiente y alternativamente producir alimentos, energía y fertilizantes (Figuroa, 1994).

En la [Figura 1](#) se muestran los tipos de centros de producción porcina que existen en el país. Allí se puede apreciar que los centros porcinos se dividen en tres grandes centros:

- **Los Centros Genéticos**, donde se encuentran los cerdos de razas puras, donde se obtienen machos destinados al auto-reemplazo (sustitución de reproductores en el propio centro) y reemplazo (sustitución de reproductores en

otro centro) en los centros multiplicadores y de producción, además se seleccionan hembras que se destinan al auto-reemplazo y reemplazo en los multiplicadores.

- **Los Centros Multiplicadores**, donde se obtienen las hembras destinadas al reemplazo de las reproductoras en los centros de producción.
- **Los Centros de Producción**, donde se producen animales para el sacrificio (que se efectúa fuera del centro), los que incluyen tres unidades: las de crías, las de ceba y las integrales que incluye las dos anteriores.



**Figura 1.** Tipos de Centros de Producción Porcina

Fuente: Elaboración propia

En Sancti Spíritus los diferentes centros porcinos se encuentran en desarrollo, todos con el fin de lograr una mayor producción de carne de cerdo. Para llevar a cabo este proceso se requiere de materias primas tales como: agua, pienso, electricidad, calor, entre otros, según las diferentes alternativas de producción, durante los cuales se generan residuos líquidos, sólidos y gaseosos, que son fuentes contaminantes del aire, suelo y agua. Por tal motivo, resulta importante estudiar el ciclo de vida de esta producción; de forma tal que se logren cuantificar los impactos ambientales asociados al uso de recursos y las emisiones que se producen durante este proceso productivo.

La herramienta de análisis de ciclo de vida (ACV) ha sido ampliamente utilizada en el mundo académico y en la industria para evaluar el impacto ambiental de un proceso o producto en todo su ciclo de vida (Azapagic, 1999). Este análisis puede ser útil para la identificación de oportunidades de mejoras ambientales en las diferentes etapas de un proceso productivo o servicio, orientando a los decisores hacia la correcta planeación

estratégica, el establecimiento de prioridades, el diseño o el rediseño del proceso en cuestión Norma ISO(2005). De esta forma la aplicación de esta herramienta a la producción porcina podría generar información útil acerca de los perfiles ambientales de la misma.

En Cuba, se han realizado estudios para evaluar el impacto ambiental del ciclo de vida de la producción porcina en unidades pertenecientes a Palmira, Cienfuegos(Díaz Peña y Col., 2012). En ese estudio se determinó el impacto asociado al sistema productivo, valorando el uso de los residuales para la producción de biogás como alternativa de mejora (Díaz Peña y Col., 2012). Allí se logró identificar que la categoría de impacto que más incide en el proceso es el cambio climático, causado por las emisiones a la atmósfera de metano, evidenciándose la necesidad del aprovechamiento de los residuos porcinos como fuente de energía renovable. Sin embargo, no se muestran en dicho estudio el impacto que tienen las diferentes etapas del proceso productivo, ni se abordan cuestiones referentes al consumo de pienso y electricidad que podrían representar impactos significativos para la producción porcina cubana. Además, no se tuvo en cuenta el proceso de producción en los Centros Genéticos el cual forma parte de la estructura de producción porcina en Cuba (Figura 1).

Teniendo en cuenta los limitados estudios existentes de ACV en la producción porcina cubana, se hace necesario evaluar el impacto ambiental de ciclo de vida de la producción porcina en Sancti Spíritus (como un estudio de caso de la situación nacional), con el propósito de identificar oportunidades de mejoras en el desempeño ambiental de dicho proceso y estudiar los aspectos que no han sido reportados en la literatura.

Por tal motivo, se establece como problema científico de la presente investigación ¿cómo evaluar el impacto ambiental de ciclo de vida de las alternativas de producción porcina existentes en la provincia de Sancti Spíritus?

**Objetivo General** Evaluar el impacto ambiental de ciclo de vida de las alternativas de producción porcina existentes en la provincia de Sancti Spíritus.

### **Objetivos específicos**

1. Definir de acuerdo a las características del proceso, el objetivo y alcance del estudio.
2. Desarrollar el inventario de ciclo de vida para las alternativas de producción porcina existentes en la provincia de Sancti Spíritus.
3. Determinar el impacto ambiental de las alternativas de producción porcina existentes en la provincia de Sancti Spíritus.

4. Valorar alternativas de mejoras ambientales para producción porcina de la provincia de Sancti Spíritus.

**Hipótesis:** Si se aplica la herramienta de ACV a las alternativas de producción porcina existentes en la provincia de Sancti Spíritus, entonces, se podrá evaluar el impacto ambiental de ciclo de vida de las mismas.

**Objeto de estudio:** La Producción Porcina.

**Campo de Acción:** El impacto ambiental de la Producción Porcina en Sancti Spíritus.

El trabajo que se presenta contiene los siguientes capítulos:

Capítulo 1: Marco teórico.

Capítulo 2: Aplicación del Análisis de Ciclo de Vida en los Centros de Producción Porcina en la Provincia de Sancti Spíritus.

Capítulo 3: Evaluación del Impacto Ambiental de la Producción Porcina.

### **Capítulo 1. Marco Teórico**

#### **1.1 Surgimiento de la Producción Porcina**

Para asegurar sus necesidades de alimento, cuero, huesos, etc., el hombre primitivo cazador debía seguir en sus migraciones a los grandes rebaños de bóvidos, cérvidos y otros animales. Hace unos 10.000 años los seres humanos del neolítico descubrieron que capturar animales, domesticarlos y mantenerlos vivos para utilizarlos cuando fuera preciso, les permitía reducir la incertidumbre que, en relación con las posibilidades de alimentación, les suponía el hecho de tener que depender de la caza. El proceso debió constar de un período de pre domesticación en el que, en un primer momento, los seres humanos habituaron a sus presas a su presencia mientras las seguían en sus búsquedas de alimento para, posteriormente, ir las reteniendo; esto supuso que ellos mismos tenían que encargarse de suministrar alimento a los animales. Así, consiguieron domesticar varias especies, encargándose de mover los rebaños de unas zonas de pasto a otras, emulando los movimientos naturales de los mismos, pero ahora bajo su control. Este sedentarismo estuvo unido al nacimiento de las prácticas agrícolas, que ligaban al hombre a la tierra y que, además, permitían el cultivo de forraje para los animales: había nacido la ganadería (Reyes Gil, 2010).

Dentro de las producciones ganaderas se encuentra la porcina, la misma ofrece grandes posibilidades de explotación, debido a que los cerdos poseen ventajas como: corto intervalo generacional, alimentación omnívora, gran prolificidad y alto rendimiento en canal y derivados, así como fácil adaptación a los diferentes climas y sistemas de explotación (<http://www.ecured.cu>).

#### **1.2 Producción Porcina en el mundo**

En los últimos años la producción de cerdo en el mundo incorporó un creciente progreso tecnológico liderada fundamentalmente por los países europeos, ocupando el primer lugar en volumen de carne consumida que fue, en el año 2011, de 100.849.000 toneladas (MAGyP, 2011).

Esta evolución fue particularmente marcada en los países desarrollados, contrastando con los menos desarrollados en los cuales su crecimiento fue más lento, aunque se reconoce a la explotación porcina como mejor adaptada a las economías emergentes por su posibilidad de rápida expansión (Brunori, 2012).

Según Vicari (2012) en Argentina y en otros países del mundo existen distintos grados de intensividad en la explotación del cerdo, esto significa diferentes relaciones entre proporciones de capital y mano de obra empleada por cada unidad de tierra en

ocupación, tal como se define a continuación:

- Sistema extensivo: Este sistema también llamado “a campo” se define por una baja inversión por hectáreas. Consiste en producir grupos de cerdos en corrales con pasturas, bebederos y refugios. Son sistemas al aire libre y pertenecen mayoritariamente a establecimientos de pequeña y mediana magnitud que están asociados con la agricultura. La rotación de los lotes agrícolas con porcinos mantiene la estructura de los suelos y asegura estabilidad en el rendimiento de los granos.
- Sistema mixto. Este sistema consiste en la combinación estratégica de las características de los sistemas extensivos y en confinamiento<sup>2</sup>, con el objetivo de aprovechar racional y económicamente la superficie disponible ofreciendo a los animales las condiciones apropiadas de manejo.
- Sistema intensivo: El sistema está conformado por el conjunto de instalaciones y prácticas que tienen como finalidad la producción de cerdos utilizando la menor de área posible.

A partir del 2002, la salida de la convertibilidad monetaria le abrió nuevas perspectivas al sector porcino de Argentina. Las condiciones macroeconómicas para la producción mejoraron considerablemente, especialmente por el crecimiento del cerdo importado y el mejoramiento de los precios internos en términos reales, lo cual contribuyó a una mejora sustancial en la rentabilidad de la actividad primaria. Esto permitió que en los últimos años se vislumbrara una clara recuperación de la actividad porcina, con un crecimiento sostenido

En España, según **Paramio y Col. (2011)**, con la llegada del nuevo siglo, el sector porcino dirigió la atención a dos cuestiones:

1. Implementar soluciones más eficientes para viejos problemas (generar nuevas líneas genéticas, mejorar las instalaciones, optimizar el ciclo reproductivo, la alimentación y el control de enfermedades, aplicar sistemas de gestión técnica y económica más precisos y resolutivos)
2. Abordar nuevos retos que les permitieran ofrecer un mejor servicio al consumidor y a la sociedad en general. Entre estos nuevos retos podemos señalar:
  - Obtener carne y productos cárnicos de calidad contrastada con las máximas garantías de salubridad y trazabilidad.

---

<sup>2</sup> confinamiento. m. Acción y efecto de confinar. || 2. Der. Pena por la que se obliga al condenado a vivir temporalmente en libertad, en un lugar distinto al de su domicilio. **Microsoft® Encarta® 2009. © 1993-2008 Microsoft Corporation.**

- Garantizar las condiciones de bienestar animal en todas y cada una de las etapas de la cría, el transporte y el sacrificio.
- Generar una especial sensibilidad en aspectos medioambientales derivados de la actividad ganadera e industrial asociada al porcino.

Según **Campos y Col. (2001)** Alemania y España son los dos países con mayor producción porcina de la Unión Europea. Estos países en el año 1998, produjeron un 21% y un 17% respectivamente de la producción total de la Unión. España muestra una tendencia ascendente, Cataluña es la principal comunidad autónoma productora, con el 25% de la producción porcina española, y el 4,5% de la producción total de la Unión Europea, con una producción total de purines estimada en 12 millones de toneladas al año.

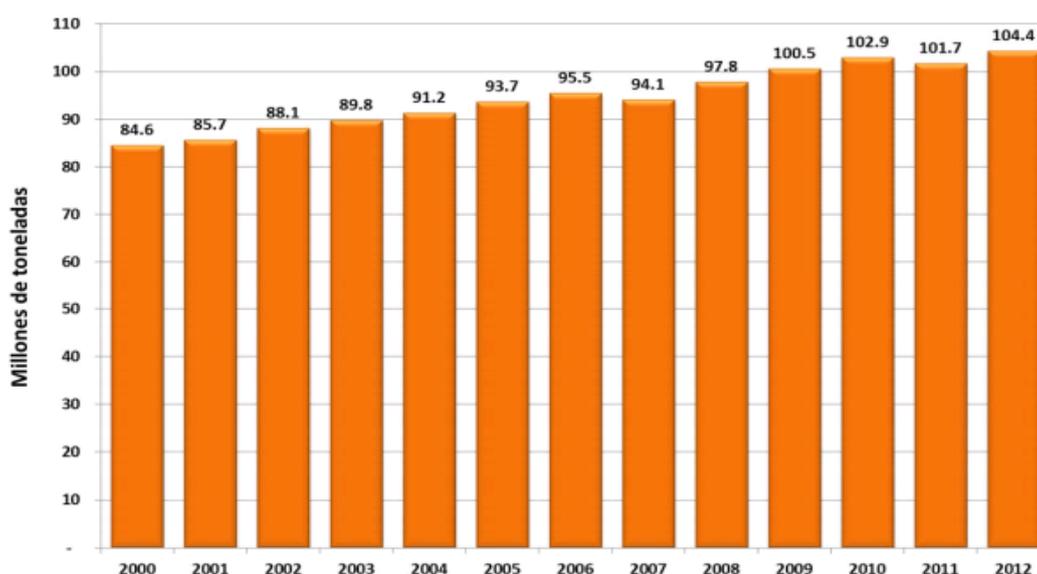
El principal problema para la gestión de los residuos no es tanto la cantidad total generada, sino la excesiva concentración en determinadas áreas, en las cuales se supera la capacidad de aceptación del medio. Los problemas de contaminación de las aguas por nitratos, tanto superficiales como subterráneas, propició la publicación de la directiva 91/676/CEE, que establece limitaciones en la dosis de residuos ganaderos aplicados al suelo. En el Decreto 283/1998, de 21 de octubre se han definido una serie de zonas vulnerables, en Cataluña, que coinciden, en muchos casos, con las zonas de mayor concentración ganadera. El exceso de residuos generados debe ser correctamente gestionado, lo que implica tratamiento y/o exportación del mismo a zonas deficitarias (**Campos y Col., 2001**).

En el contexto del fomento de energías renovables, el aprovechamiento energético de este tipo de residuos puede contribuir a aumentar la producción de energía eléctrica procedente de fuentes renovables (previsto el 12% para el año 2010). En el ámbito español las medidas para el fomento de las energías renovables se han publicado en el Real Decreto 2818/1998 de 23 de diciembre, el cual dispone, entre otras medidas, subvenciones sobre el precio de venta de energía eléctrica producida por energías renovables, utilizando como combustible principal biomasa, donde se encuadra la producción de biogás a partir de residuos.

También se prima la producción de energía eléctrica producida mediante un proceso de cogeneración, siempre y cuando la energía térmica se utilice para el tratamiento de purines, lodos u otros residuos, independientemente del tipo de combustible utilizado. La coyuntura de precios y primas favorece en la actualidad el uso de combustibles fósiles (gas natural) para la aplicación de la tarifa, lo cual contribuye al aumento de las

emisiones de gases de efecto invernadero. Con la subida de precios de los combustibles fósiles en los últimos años, comienza a ser interesante la generación de energía mediante biometanización (Campos y Col., 2001).

La producción mundial de carne de cerdo en México presentó un marcado crecimiento durante las últimas décadas. Así, en el período 2001-2011 la producción de carne en el mundo creció a una tasa media anual de 1.7%. Durante 2011, la producción mundial de carne de cerdo totalizó 101.7 millones de toneladas, que en su relación con 2010 representó una caída del 1.2%. Sin embargo, para el 2012, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) estimaba una producción de 104.4 millones de toneladas de carne de porcino, lo que representaba un crecimiento del 2.7% (Navarrete, 2012). La Figura 2 muestra la producción mundial de carne de cerdo entre los años 2000 y 2012.



**Figura 2.** Producción Mundial de Carne de Cerdo (2000-2012).

Fuente: (Navarrete, 2012)

De acuerdo a estudios realizados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), “la carne roja de mayor consumo mundial es la carne de cerdo, cuya demanda en las últimas décadas ha experimentado un fuerte incremento (<http://www.elsitioporcino.com>, 2014)´.

En Argentina la dinámica de la producción mundial de cerdos experimentó un crecimiento promedio del 10% en la última década (116,37 millones de cabezas de cerdos) sufriendo caídas solamente en los años 2008 y 2011, en el primer año

mencionado, como consecuencia probablemente de la crisis económica desatada en Estados Unidos, y en 2011, como consecuencia de la merma en la producción de China (<http://www.elsitioporcino.com>, 2014).

El crecimiento en la producción de carne de cerdo que se experimentó en (gigante asiático) Argentina durante 2011, fue limitado por el incremento en los costos de producción, el riesgo de enfermedades, los problemas ambientales, la escasez de tierra, así como a condiciones más estrictas de crédito. Pero ya en el año 2013 la producción ascendió a 1.257 millones de cabezas de cerdo. La producción porcina mundial está caracterizada por la creciente dicotomía de los sistemas de producción: por un lado, los sistemas tradicionales de subsistencia de pequeña escala; por otro, los sistemas industriales especializados. Estos últimos siguen un patrón donde se concentran cerca de los núcleos urbanos y las fuentes de insumos (<http://www.elsitioporcino.com>, 2014)

### **1.3 Producción Porcina en Cuba. Historia**

La explotación porcina en Cuba data del período de la colonización española, en que fue introducida esta especie. Antes de 1959 la ganadería sufría un total abandono, la crianza porcina era la más atrasada de la producción animal. La producción porcina del país era casi totalmente la aportada por los campesinos a través de pequeñas unidades de autoconsumo destinando alguna parte al consumo de la población. Además existían criadores que mantenían en forma libre rebaños que en algunas épocas del año se acopiaban y mejoraban mediante una alimentación basada en viandas, palmiches y residuos de comidas caceras con el objetivo de ofertar los cerdos en el mercado (<http://www.ecured.cu>).

Ya en los comienzos de 1959 ocurrieron grandes cambios en todas las esferas de la economía nacional y en particular en la rama porcina por las ventajas que posee esta especie para la producción de carne. Se tomaron en ese entonces las siguientes medidas: introducir animales de razas especializadas con el fin del estudio de su comportamiento en el país para la mejora de la masa que existía, crear una estructura administrativa a nivel nacional para dirigir la explotación porcina, intensificar la producción, dedicando gran cantidad recursos en la construcción de diferentes tipos de centros, establecer un sistema de alimentación basado en la utilización de subproductos de origen nacional, crear centros de investigación y aplicación a nivel nacional de la medicina veterinaria y formar personal capacitado para enfrentar las demandas de la explotación porcina moderna.

La rama porcina en Cuba comenzó a desarrollarse a un ritmo acelerado y creciente a partir de 1969 con la creación del Combinado Porcino Nacional como actividad especializada. En los años siguientes, tuvo lugar un proceso de concentración e intensificación de la crianza porcina. Se organizó la producción en ciclos continuos, se estableció un programa genético nacional, se construyeron instalaciones porcinas en todo el país, se calificaron técnicos y trabajadores y se creó la infraestructura necesaria. Se produjo a la vez un proceso de introducción de alimentos alternativos como los derivados de la caña de azúcar y el uso de desperdicios y subproductos (Figueroa, 1994).

En 1972 se funda el Centro de Investigaciones Porcinas donde se han desarrollado trabajos experimentales con la finalidad de buscar soluciones autóctonas para los problemas de la porcicultura en Cuba y así lograr soluciones nacionales para lograr el incremento de la producción porcina en el país. Por la resolución No.425-5 de fecha 23 de diciembre de 1985 del Ministerio de la Agricultura se nombra Instituto de Investigaciones Porcinas (IIP), con la misión de contribuir a la solución de los problemas productivos y ambientales de la producción porcina en Cuba a través de la investigación, transferencia e innovación tecnológica para incrementar la producción de forma más eficiente y competitiva para de esta manera satisfacer las demandas tecnológicas de la producción porcina, además potenciar la colaboración nacional e internacional y desarrollar novedosas líneas de trabajo investigativo a través de la ejecución de proyectos integrales (<http://www.ecured.cu>).

El objetivo fundamental del IIP es desarrollar trabajos experimentales, destinados a dar respuesta a aspectos concretos de la producción porcina, extensivo a otros países con las mismas condiciones climáticas que el nuestro. Con el fin de buscar soluciones nacionales y que no dañen el entorno ecológico, se ocupa de aspectos relacionados con la genética, la reproducción y nutrición de los cerdos, así como el diseño de las instalaciones y la mecanización de los procesos más laboriosos, también se han considerados aspectos organizativos de las unidades porcinas y el tratamiento de los residuales (<http://www.ecured.cu>).

En la segunda mitad de la década del '80, se produce un cambio importante en la estructura de alimentación de las empresas porcinas especializadas, disminuye significativamente la dependencia de la actividad porcina sobre piensos de importación y aumenta la proporción de alimentos no convencionales de origen cubano,

principalmente los derivados de la caña de azúcar (Ver Tabla 1). A la vez comienza un plan de desarrollo importante en la rama porcina y para ello se ejecuta un amplio programa inversionista con la construcción de centros integrales (alrededor de 2000 reproductoras cada uno), nuevas plantas procesadoras de desperdicios, de derivados de la caña y la infraestructura necesaria para este rápido crecimiento (Figueroa, 1994).

**Tabla 1.** Estructura de alimentos consumidos por la producción porcina especializada en Cuba en los años 1985 y 1990

Alimento	% del total de alimentos, MS	
	1985	1990
Pienso importado	53	38
Derivados de la caña	19	36
Desperdicios procesados	28	23
Otros	-	3

Fuente: (Figueroa, 1994).

La alimentación representa entre el 60 y el 70% del costo total de los sistemas de producción porcina, mientras que la ceba (cerdos entre 25 y 100kg de peso vivo) consume alrededor del 70% de los alimentos del rebaño. Es por eso que se concede suma importancia al uso racional y eficiente de los alimentos, puesto que este aspecto decide la eficiencia general y la economía de estos sistemas productivos, siempre que se emplee un manejo apropiado (Mederos y Col., 2009).

Entre 1990 y 1997 la crianza de cerdos se caracteriza por una crisis alimentaria debido a la reducción drástica en las importaciones de materias primas para preparar alimento animal y de acopio de residuos alimentarios destinados a los cerdos del sector estatal. Luego con el surgimiento del Grupo Empresarial de Producción Porcina, se inicia el proceso de recuperación de la producción, modificando el proceso productivo con la instauración del sistema bifásico de crianza, la incorporación creciente de otras formas de producción campesina en el desarrollo de la cría de cerdos y el fortalecimiento del extensionismo en todo el país mediante los servicios técnicos territoriales (Ly y Col., 2005).

### 1.3.1 Desarrollo de la Producción Porcina

En la actualidad existe un notable avance en cuanto a la producción porcina, contando

con diferentes centros de producción dentro de los cuales se encuentran:

- **Centros genéticos:** en estos centros están los rebaños élites de razas puras, con el fin de obtener machos y hembras para el auto-reemplazo y el reemplazo de los productores en los centros multiplicadores y de producción.
- **Centros multiplicadores o de reemplazo:** es donde están las hembras destinadas al reemplazo de las reproductoras en los centros de producción.
- **Centros de producción:** tienen como objetivo fundamental producir animales para el sacrificio con la mayor cantidad de carne magra<sup>3</sup> posible y con gran eficiencia económica.

Los centros de producción pueden ser de tres tipos: de cría, de ceba e integrales. Los de crías producen crías destetadas para preceda, en los de ceba se encuentran los animales en la etapa de engorde y los centros integrales se encuentran constituidos por los dos anteriores centros en uno solo.

La producción porcina del país ha tenido cambios importantes a lo largo del tiempo. A partir de 1990 comienza una nueva etapa del desarrollo de la producción porcina caracterizada por una transformación de la estructura productiva, donde el sector no especializado, constituido por organismos estatales, cooperativas y productores privados adquiere poco a poco el mayor peso en la producción de cerdos. La [Tabla 2](#) muestra el comportamiento de los sectores de la producción porcina en los años 1989 y 2003, donde se observan el notable cambio.

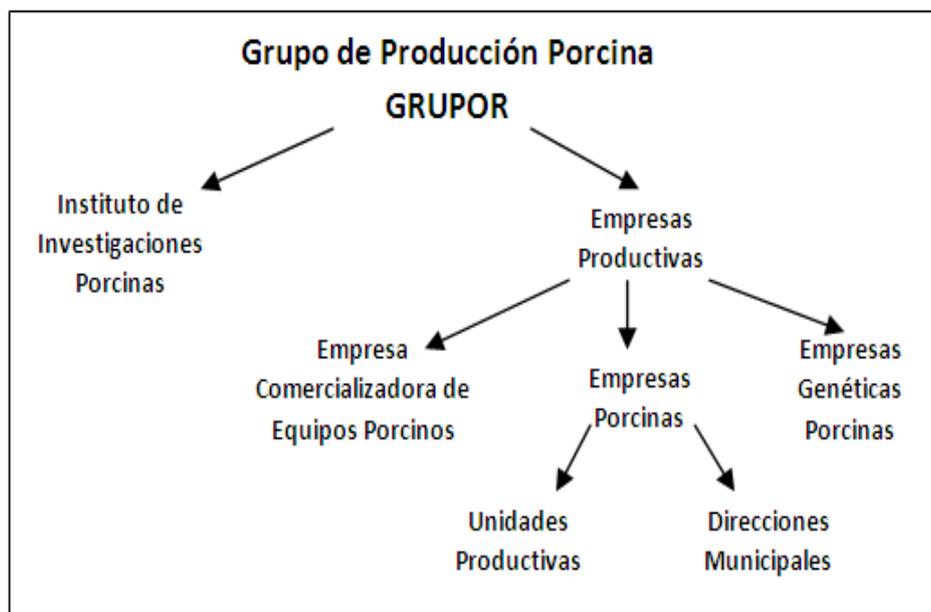
**Tabla 2.** Producción Porcina 1989 y 2003

AÑO	Sector	Sector no
	Especializado (%)	Especializado (%)
1989	83,7	16,3
2003	18,0	82,0

Esta nueva situación implicó el desarrollo de acciones que permitieran mejorar la productividad del sector no especializado tales como: el asesoramiento en aspectos relacionados a la alimentación fundamentalmente no convencional y el cultivo de alimentos, aspectos de salud y bioseguridad en general, el tratamiento y utilización de residuales porcinos y como aspecto básico la inclusión de esa población no especializada en el Programa Nacional de Mejora Genética.

<sup>3</sup> magra. Carne del cerdo, próxima al lomo. Microsoft® Encarta® 2009. © 1993-2008 Microsoft Corporation.

La **Figura 3** muestra la organización del sistema de producción porcina de Cuba constituido por el Instituto de Investigaciones Porcinas y las empresas porcinas distribuidas por todo el país.



**Figura 3.** Organización del Sistema de Producción Porcina en Cuba.

Fuente: II Taller Nacional sobre Mecanismos de Desarrollo Limpio (2011)

Cuba aplica una nueva estrategia para el desarrollo de la producción de carne de cerdo la cual permite su crecimiento sostenido y notables resultados en la sustitución de importaciones de alimentos para esa masa, la nación adquirió 16 mil reproductoras de genética altamente probada, posibilitando la recuperación paulatina de la masa. La producción porcina se ha triplicado, aunque esas cifras aún son insuficientes para garantizar la demanda de la población y las unidades procesadoras de alimentos.

Conjuntamente con la Asociación Nacional de Agricultores Pequeños (ANAP) se desarrolla el movimiento en el cual 350 cooperativas deben entregar cada una más de 100 toneladas de carne porcina. El proyecto se fortalece progresivamente.

Según informes del MINAGRI, en 2009 las ventas de carne porcina al estado por el sector cooperativo y campesino significaron el 70% de lo producido nacionalmente (II Taller Nacional sobre Mecanismo de Desarrollo Limpio, 2011).

### 1.3.2 La Producción Porcina en Sancti Spíritus

En la provincia de Sancti Spíritus se cuenta actualmente con siete centros de producción porcina distribuidos en los diferentes municipios distribuidos de la siguiente manera, un Centro Genético ubicado en el municipio de Cabaiguán y un Centro Multiplicador localizado en Tamarindo, La Sierpe, dos unidades de cría una en Venegas municipio Yaguajay y la otra en Los Molinos en Trinidad, una unidad de ceba en el Colorado municipio Cabaiguán, y dos unidades integrales, una en Carbó municipio de Yaguajay y la otra en el Cacahual en el municipio Sancti Spíritus, además se realizan convenios porcinos con productores y campesinos. En la [Tabla 3](#) se muestra el comportamiento de la producción porcina en Sancti Spíritus en el período (2012-2014).

**Tabla 3.** Producción de carne de cerdo (2012-2014)

<b>Año</b>	<b>Total (t)</b>	<b>Centros Productivos (t)</b>	<b>Acopio (t)</b>
<b>2012</b>	11576.2	10429.1	1147.1
<b>2013</b>	13414.1	1252.17	892.4
<b>2014</b>	14356.4	14081.4	275.1

Hasta abril del 2015 presentan en producción de los centros 4100.3 t y en Acopio 35.6 t. En los últimos años ha existido un sostenido incremento de la producción porcina debido, en primer lugar, al establecimiento de un gran número de convenios con productores en las modalidades de ceba con animales propios y de crías al destete (más de 50 000 animales pequeños generados en unidades especializadas se venden a los productores con convenios porcinos).

En la actualidad los cerdos entregados para el sacrificio tienen un peso promedio que oscila en los 98 kilogramos. Todo este avance gracias al menor manejo de los animales y una mayor disponibilidad de alimentos, producto a la existencia en la provincia de Sancti Spíritus de dos fábricas de piensos, la primera con varios años de explotación con equipamiento fabricado en España, pero ya en el 2013, entró en funcionamiento una segunda planta de tecnología china para la producción de piensos, la cual en conjunto con la primera posibilita el aumento de la producción, y la obtención de piensos de mayor calidad, con el fin de abastecer la demanda de los poricultores.

Todo este aumento de las producciones porcina trae consigo un gran impacto en el ámbito ambiental ya que no existe un correcto manejo de los afluentes de estas producciones, ni posibilidad de reutilización de subproductos como gas y fertilizante. Por lo que se puede lograr un correcto tratamiento de los efluentes y la reutilización de esos desechos para producir energía.

### **1.4 Estudios del Impacto Ambiental de la Producción Porcina**

#### **1.4.1 Impacto Ambiental de la Producción Porcina**

En las producciones porcinas se generan diversos residuos y su tratamiento ha tomado gran importancia debido a la magnitud que representa este problema. Actualmente existe una mayor conciencia ante la protección del medio ambiente por parte de la sociedad, lo que trae consigo que en el mundo se estén manejando notablemente estos residuos, como las excretas, las cuales tienen un gran impacto sobre el aire, el suelo y el agua.

Algunos de los impactos ambientales de esta producción son: contaminación del aire por las emisiones de gases de efecto invernadero, la pérdida de la biodiversidad de especies con la contaminación del agua por vertimientos directo al medio sin tratamiento adecuado hacia cuerpos receptores de cuencas de ríos, presas que son utilizadas para regadíos o el consumo (II Taller Nacional sobre Mecanismo de Desarrollo Limpio, 2011).

Según II Taller Nacional sobre Mecanismo de Desarrollo Limpio (2011) algunas características de la producción porcina y de los sistemas productivos agropecuarios en general que estimulan la generación y vertimiento de residuos al ambiente son:

- ✓ 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, 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. Las preocupaciones por los efectos ambientales negativos de la producción han 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, 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 ([II Taller Nacional sobre Mecanismo de Desarrollo Limpio, 2011](#)).

Las excretas porcinas son un contaminante ambiental de valor, pueden generar recursos muy valiosos mediante su procesamiento, de manera, que al reciclarse parte de la energía y de sus nutrientes, contribuyen a hacer sostenible la producción. Un beneficio que brinda esta tecnología es la sustitución de la leña por el biogás, por lo que previene en gran medida la destrucción de los bosques y reduce considerablemente las emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente ([II Taller Nacional sobre Mecanismo de Desarrollo Limpio, 2011](#)).

En este proceso realizado por bacterias, se libera una mezcla de gases formada por metano (el principal componente del biogás), dióxido de carbono, hidrógeno, nitrógeno y ácido sulfhídrico. Es un combustible económico y renovable; se utiliza en vehículos de motor, para mezclar con el gas del alumbrado y para usos industriales y domésticos. La producción de biogás, además de aprovechar materia considerada como desperdicio, origina como subproducto un fertilizante de calidad excelente. El biogás tiene mucha importancia en los países en desarrollo, y en los industrializados está aumentando la atención por este combustible para intentar reducir la dependencia actual del petróleo ([II Taller Nacional sobre Mecanismo de Desarrollo Limpio, 2011](#)).

El Instituto de Investigaciones Porcinas de Cuba desde la década de los 80 ha desarrollado y construido biodigestores de diversas tipologías (por ejemplo, cúpula fija y tubular de polietileno) con el objetivo de realizar el tratamiento a los residuales porcinos ([II Taller Nacional sobre Mecanismo de Desarrollo Limpio, 2011](#)).

### 1.4.2 Residuos de la Producción Porcina

Un residuo es el material que se produce a consecuencia no deseada de cualquier

actividad humana y del cual el productor o poseedor ha desprendido o tiene la intención u obligación de hacerlo.

Los residuos de las explotaciones porcinas son muy heterogéneos, están formados por:

- Residuos líquidos: deyecciones líquidas, agua de bebida y agua de lavado de las instalaciones.
- Residuos sólidos: deyecciones sólidas, residuos de cama calientes (material que ha terminado su fase útil de cama vegetal) y restos de alimentos (generados por los comederos o desechados por su mal estado), fitosanitarios, antibióticos, etc. También forman parte de los sólidos de las explotaciones porcinas pero en menor cuantía: animales muertos y placentas, jeringas y material veterinario utilizado durante la crianza (Vicari, 2012).

En los cerdos, la orina representa aproximadamente el 45% y las heces el 55% del contenido volumétrico total de las excretas, la humedad es cercana al 90% y el contenido de materia seca es próximo al 10%. La densidad de la excreta fresca es ligeramente mayor a 1, siendo así un fluido de peso comparable al agua. La excreta porcina contiene sólidos flotantes

y sólidos que sedimentan, además de sólidos en suspensión (Vicari, 2012).

Los residuos, dependiendo del sistema de producción que se lleva a cabo, se pueden presentar como estiércoles o purines:

- Estiércol: Material compuesto por las deyecciones de los animales sólidos y líquidas y las camas de ganado. Se define como una mezcla de cama y de deyecciones de animales que han sufrido fermentaciones más o menos avanzadas en la cochiguera o en el estercolero<sup>4</sup>.
- Purines o Efluentes: Son una mezcla compuesta por deyecciones sólidas y líquidas de los animales junto con restos de ellos, remanentes de agua de los bebederos, agua de lavado de la explotación y agua de lluvia. También estará compuesto por el material de cama en caso de ser utilizado. Disponen de una gran cantidad de agua en su composición (Vicari, 2012).

### 1.5 Herramienta de Análisis de Ciclo de Vida

El análisis del ciclo de vida (ACV) es una herramienta que se utiliza para evaluar el impacto potencial sobre el ambiente de un producto, proceso o actividad a lo largo de

---

<sup>4</sup> Estercolero. m. Encargado de recoger y sacar el estiércol. || 2. Lugar donde se recoge el estiércol. || 3. Lugar muy sucio. Microsoft® Encarta® 2009. © 1993-2008 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

todo su ciclo de vida mediante la cuantificación del uso de recursos ("entradas" como energía, materias primas, agua) y emisiones ambientales ("salidas" al aire, agua y suelo) asociados con el sistema que se está evaluando.

### 1.5.1 Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV), de acuerdo a la Norma ISO 14040 (2005), es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados con un producto mediante: la recopilación en un inventario de las entradas y salidas pertenecientes de un sistema producto; la evaluación de los impactos ambientales potenciales asociados con esas entradas y salidas; la interpretación de los resultados de las fases de análisis del inventario y de evaluación del impacto en relación con los objetivos del estudio.

El ACV es una herramienta de evaluación de impacto ambiental asociado a un producto o proceso. Comprende etapas que van desde la obtención de la materia prima (cuna) hasta la disposición del producto final después su uso (tumba). Incluye las fases de extracción, procesamiento de la materia prima, transporte, distribución, uso, reúso, mantenimiento, reciclaje y disposición final (Ferreira, 2001).

#### 1.5.1.1 Características fundamentales de Análisis de Ciclo de Vida

Según la norma ISO 14040 (2005).

- Considera el ciclo de vida completo de un producto, desde la extracción de materia prima y adquisición de la energía, producción y manufactura, hasta el uso, tratamiento al final de vida y disposición final.
- Permite identificar la carga ambiental potencial dentro de las etapas de ciclo de vida o procesos individuales, con el fin de poder evitarla.
- Consigna los aspectos e impactos ambientales de un sistema de producción. Los aspectos e impactos económicos y sociales están fuera del alcance del ACV.
- Es una aproximación relativa, que está estructurada alrededor de la unidad funcional. Esta unidad funcional define lo que se estudia. Todos los análisis subsecuentes son relativos a esa unidad funcional.
- Es una técnica iterativa. Las fases individuales de un ACV usan resultados de otras etapas, la aproximación iterativa dentro y entre las fases contribuye a la comprensión y consistencia del estudio y de los resultados presentados.
- El ACV considera todos los atributos o aspectos del medio natural, salud humana y recursos.

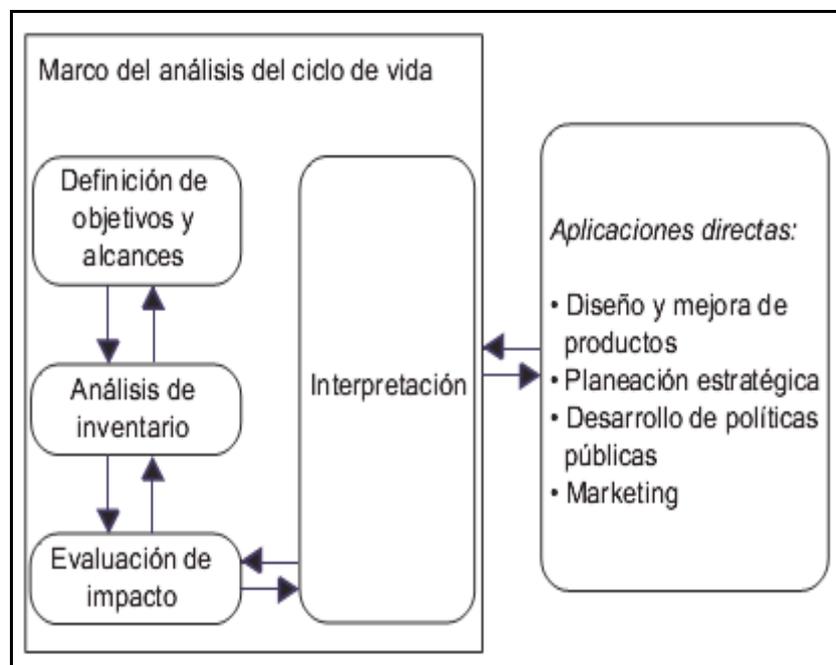
- Las decisiones dentro de un ACV se basan fundamentalmente en las ciencias naturales. Si no existe una base científica o una justificación basada en otros enfoques científicos o en convenciones internacionales las decisiones se deben basar en juicios valorativos.

El ACV se basa en la descripción de un sistema de producción compuesto por unidades de proceso, típicamente, compra de materia prima, producción, uso, reciclado/reúso, tratamiento de residuos, suministro de energía y transporte. Las unidades de proceso están relacionadas entre sí por flujos de productos intermedios y/o residuos, con otros sistemas de producción por flujos de producción, y con ambientes por flujos elementales.

Para reducir el impacto ambiental generado por los productos, es necesario analizar las acciones de mejora en todas sus fases de ciclo de vida desde la entrada de materias primas, hasta los residuos generados en la etapa final.

### 1.5.1.2 Metodología del Análisis de Ciclo de Vida

De acuerdo con la metodología propuesta por la normativa ISO 14040 (2005) un proyecto de ACV puede dividirse en cuatro fases: objetivos y alcance del estudio, análisis del inventario, análisis del impacto e interpretación, lo que se muestra en la siguiente figura:



**Figura 4.** Fases de un ACV.  
Fuente: Norma ISO 14040

Las fases de un ACV:

**a) Definición de objetivos y alcance del estudio** (Ver Figura 5).

Es la primera fase del estudio y probablemente la más importante, puesto que en ella se establecen los cimientos sobre los cuales se construirá el resto del ACV: la definición del propósito del estudio, la definición del ámbito del estudio, el establecimiento de una unidad funcional y el establecimiento de un procedimiento para garantizar la calidad de los datos. Cabe remarcar que, si durante el estudio aparece información que así lo aconseje, estos elementos se pueden redefinir o reconsiderar.

El alcance incluye el sistema de producción a estudiar, las funciones del sistema de producción, los sistemas involucrados (en el caso de estudios comparativos), la unidad funcional, los procedimientos de asignación, las categorías de impacto seleccionadas y la metodología de evaluación e interpretación de impactos, los datos requeridos, las suposiciones e hipótesis utilizadas, las limitaciones, la calidad de datos iniciales requeridos, el tipo de revisión crítica y el tipo y el formato del informe final.

El propósito inicial de una unidad funcionales proveer la referencia respecto a la cual las entradas y salidas serán relacionadas. Los límites del sistema definen la unidad de producción a ser incluida en el sistema. Idealmente, el sistema de producción debe ser elaborado de tal manera que las entradas y salidas, así como los límites, sean flujos elementales (Panichelli, 2006).

**Propósito del estudio:** cuál es la razón para realizar el ACV, qué tipo de decisiones se tomarán en base a los resultados del ACV, si éstos se utilizarán de manera únicamente interna, o también externa (por ejemplo, para informar a la opinión pública o a la Administración), son algunas de las razones que deben considerarse.

**Ámbito del estudio:** define el sistema, sus límites (conceptuales, geográficos y temporales) y los parámetros que lo caracterizan (materias primas consumidas, consumo energético, productos, subproductos, residuos y emisiones). Se deben establecer los requisitos de los datos que se utilizarán, las hipótesis clave y las limitaciones del estudio.

**Unidad funcional:** se debe establecer una unidad funcional de cuantificación, basada en la prestación proporcionada por el servicio o producto.

**Metodología utilizada:** Se deberá especificar que metodología se ha utilizado.

**Procedimiento para garantizar la calidad de los datos:** se propone la utilización de indicadores de calidad que garanticen la fiabilidad de los datos utilizados y en consecuencia, de las decisiones basadas en ellos.

1. Formato del informe final: se describirá la estructura e información que

contendrá el informe final, así como el soporte físico del informe: informe escrito, soporte informático, conferencia, etc.

### **b) Análisis de inventario de Ciclo de Vida (AICV) (Ver Figura 5)**

La segunda fase es el análisis del inventario incluye la recolección de datos y procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas relevantes de un sistema de producción.

Los datos requeridos incluyen por ejemplo el ingreso de energía, el ingreso de materias primas y entradas auxiliares, productos, co-productos y residuos, emisiones al aire, descargas al agua y al suelo, y otros aspectos ambientales que constituyen los datos primarios y secundarios.

El cálculo de datos contempla la validación de datos coleccionados, los datos relacionados a la unidad de producción, y los datos relacionados al flujo de referencia de la unidad funcional.

El AICV es la base para realizar evaluaciones comparativas de impactos ambientales e identificar oportunidades de mejora. En un AICV se genera una lista con las cantidades de contaminantes relacionadas con el medio ambiente y la cantidad de materia y energía consumida.

El AICV puede ser utilizado de diferentes maneras. Puede servir para hacer comparaciones entre productos, procesos o actividades o para la inclusión de aspectos ambientales en la selección de materiales. Además, pueden contribuir a la generación de políticas y como herramientas de ayuda a la decisión (Panichelli, 2006). Para facilitar y clarificar el estudio, se divide el sistema en diversos subsistemas (adquisición de recursos, fabricación, uso, gestión de residuos y transporte entre etapas), y los datos que se obtienen quedan agrupados en diversas categorías dentro de una tabla de inventario.

### **c) Evaluación de impacto de Ciclo de Vida (EICV) (Ver Figura 5)**

La tercera fase es la evaluación de impacto ambiental, es un proceso que pretende identificar y caracterizar los efectos sobre el medio ambiente del objeto de estudio, utilizando los resultados obtenidos durante la fase de inventario.

Alonso (2009), refiere que para la fase de evaluación de impacto se debe tener en cuenta lo siguiente:

*Clasificación.* Los datos procedentes del análisis de inventario son agrupados en diversas categorías en base al impacto sobre el medio al cual pueden contribuir (por

ejemplo: agotamiento de recursos, nitrificación del suelo y de las aguas, efecto invernadero, erosión, etc.).

*Caracterización.* Se produce el análisis/cuantificación y, si es posible, la agregación, del impacto producido por los agentes contaminantes dentro de una categoría de impacto (por ejemplo: ¿qué acidifica más, el SO<sub>2</sub> o el NO<sub>2</sub>? y ¿cuánto más?).

*Valoración.* Los datos de las diferentes categorías de impacto son ponderados (por ejemplo: cuántas veces más o menos debe preocupar el impacto de erosión que el de lluvia ácida), para que puedan ser comparados entre sí, y agregados con la finalidad de obtener un resultado único o índice ambiental. Es importante que esta fase esté basada en gran parte en informaciones sobre valores y preferencias sociales

La EICV constituye el nexo entre el producto o proceso y los potenciales impactos sobre el ambiente (Panichelli, 2006).

La estructura general de la EICV está compuesta de elementos mandatorios, de acuerdo a la NC ISO 14042 (2001), que son los siguientes:

- Selección de categorías de impacto, indicadores de categorías y modelos de categorías.
- Clasificación. Es la asignación de los resultados del inventario a categorías de impacto, es decir, los datos del inventario con agrupados en un número de categorías de impacto.
- Caracterización. Es el cálculo de los indicadores de categorías, es decir el análisis y estimación de la magnitud de los impactos, sobre la salud de los ecosistemas, la salud humana y la reducción de recursos para cada una de las categorías de impacto.

El indicador resultante para las categorías de impacto en su conjunto, representa el perfil ambiental para el proceso.

Hay elementos opcionales e información que puede ser utilizada dependiendo del objetivo y alcance del estudio, los cuales son:

- Normalización. Es el cálculo de la magnitud del indicador de la categoría relativa a un valor de referencia. Todos los impactos –contribución de un sistema producto a una categoría de impacto- están relacionados a una situación de referencia.
- Agrupación. Es la agrupación y jerarquización de los indicadores.
- Ponderación. Su objetivo es priorizar y posiblemente la agregación de los resultados del indicador a categorías de impacto. Es una comparación cuantitativa de la seriedad de los diferentes impactos potenciales de un sistema producto, en general, con el objetivo de obtener un índice simple del desempeño ambiental.
- Análisis de datos. Se entiende como la confiabilidad de los resultados del ACV.

Los valores y la subjetividad de cada elemento debe ser transparente para una revisión y emisión de reportes críticos (UNEP, 2003).

### d) Fase de interpretación (Ver Figura 5)

La interpretación del ciclo de vida es la fase del ACV, en la cual se resumen los hallazgos del análisis del inventario y de la evaluación de impacto. La fase de interpretación brinda resultados que deben ser consistentes con la meta y el alcance, que permitan conclusiones, que expliquen las limitaciones y provean recomendaciones.

El **informe** es una parte integral de un ACV que incluye las diferentes fases del estudio en consideración.

La **revisión crítica** es un proceso para verificar si un ACV ha alcanzado los requisitos en metodología, datos, interpretación e información y la consistencia con los principios. Para el caso de estudios de ACV de productos sustitutos o nuevos productos, se utiliza la **comparación entre sistemas**, donde se analiza el impacto ambiental de un producto en relación a un producto de referencia (Panichelli, 2006).

## 1.6 Conclusiones Parciales

Según la bibliografía consultada se pudo llegar a las siguientes conclusiones:

1. Existe un notable crecimiento de la producción porcina a nivel internacional y nacional.
2. La producción porcina tiene gran impacto en el medio ambiente producto a las emisiones de contaminantes de dicho proceso.
3. Se puede utilizar la herramienta ACV para la evaluación de impacto ambiental de los centros de producción porcina.

---

## **Capítulo 2. Aplicación del Análisis de Ciclo de Vida en los Centros de Producción Porcina en la Provincia de Sancti Spíritus**

### **2.1 Introducción**

Para evaluar el impacto ambiental se utilizó como herramienta el Análisis del Ciclo de Vida (ACV), según los requisitos establecidos en la NC ISO 14040(2005). En este capítulo se presenta los aspectos metodológicos para la aplicación del análisis de ciclo de vida incluyendo:

- Definición el objetivo, el alcance del estudio
- Descripción del proceso de producción porcina
- Principales limitaciones y suposiciones
- Análisis del inventario de ciclo de vida
- Evaluación del impacto de ciclo de vida
- Valoración de alternativas de mejoras

### **2.2 Aplicación de la metodología de análisis del ciclo de vida**

#### **2.2.1 Definición de objetivo y alcance del estudio**

- **Objetivo**

El ACV se desarrolla para el proceso productivo de los Centros Porcinos de la provincia de Sancti Spíritus, divididos en Centros Genéticos, Multiplicadores y de Producción, el objetivo de esta investigación es evaluar el impacto ambiental de ciclo de vida de las alternativas de producción porcina existentes en la provincia de Sancti Spíritus.

- **Alcance del estudio**

Unidad funcional: Para el estudio se consideró como unidad funcional las unidades equivalentes de porcino (50 kg) obtenidas del parto de 100 reproductoras en el período de un año.

#### **2.2.2 Descripción del proceso de producción porcina en la provincia de Sancti Spíritus**

Durante el proceso productivo de cada centro, los cerdos pasan por diferentes etapas las cuales se explican a continuación:

- Crías: Comprendió desde el nacimiento hasta el destete que se realiza a los 35 días de edad. El peso de salida se consideró como 8 kg para todos los casos.
- Precebas: A esta etapa pasan los animales que al momento del destete y después

de la preselección no reúnen los requisitos establecidos para la reproducción. Incluye progenie<sup>5</sup> macho o hembra, no necesaria para el auto-reemplazo de los rebaños especializados en uno u otro sexo. Son cerdos en desarrollo o crecimiento, destinados a la producción de carne. Comprende, desde el destete hasta los 45 días de edad para el Centro Genético y 96 días de edad para los Centros Multiplicadores y de Producción. El peso promedio alcanzado es de 10 kg para el Centro Genético y 40 kg para los Centros Multiplicadores y de Producción.

- Lechones (as): A esta etapa pasan los animales que al momento del destete reúnen los requisitos establecidos para la reproducción. Es la etapa que comprende desde el destete hasta los 110 días de edad alcanzando un peso de salida de 50 kg como mínimo.
- Cochinos (as): Es la etapa que comprende desde el final de la categoría de lechones (as), hasta la selección final que se realiza con una edad de 175 días. Los mismos poseen un peso 100 kg al finalizar la etapa.
- Ceba: Esta etapa se lleva a cabo solamente en los Centros Multiplicadores y de Producción. Se tuvieron en cuenta cuatro tipos de cebas:
  - o Ceba-preceba: es la ceba de los animales provenientes de la preceba y comprende desde los 96 hasta los 240 días de edad.
  - o Ceba-lechones: es la ceba de los animales provenientes del desecho de los lechones (no cumplen los requisitos) y comprende desde los 110 hasta los 240 días de edad.
  - o Ceba-cochinos: es la ceba de los animales provenientes del desecho de los cochinos (no cumplen los requisitos) y comprende desde los 175 hasta los 240 días de edad.
  - o Ceba-comercial: es la ceba de los cochinos establecida normalmente en los Centros de Producción y comprende desde los 175 hasta los 240 días de edad. Note que esta etapa solo existe en los Centros de Producción.
- Reproductores: incluye las reproductoras y los sementales seleccionados para llevar a cabo el proceso productivo en los Centros Genéticos, Multiplicadores, y de Producción con índice positivo (que cumple los requisitos).

---

<sup>5</sup> **progenie.** (Del lat. *progenies*). f. Casta, generación o familia de la cual se origina o desciende una persona. || 2. Descendencia o conjunto de hijos de alguien. **Microsoft® Encarta® 2009. © 1993-2008 Microsoft Corporation.**

Las Figuras 5, 6 y 7 muestran los diagramas de los procesos productivos en los Centros Genético, Multiplicador y de Producción. Allí se muestran, los límites del sistema de acuerdo al alcance de estudio, incluyéndose las etapas antes mencionadas, y las entradas y salidas de cada proceso.

Para el caso del Centro Genético, se consideraron un total de 100 reproductoras, distribuidos en 10 reproductoras por semental. Valores de 2.2 partos/reproductora y 10 crías/parto al año fueron considerados. Como se puede observar en la Figura 5, estos centros no ceban. Según la etapa del proceso, se tienen tasas de desecho para este tipo de centro. De esta forma para la etapa de crías el índice de desecho es del 1%, para los lechones del 22.2%, y para los cochinitos del 1%. Así mismo se tienen tasas de muertes que fueron de 12% para la etapa de crías, del 5% para la preceba, del 3% para los lechones, y del 3% para los cochinitos (Peña y Col., 2013).

El Centro Multiplicador consideró un índice de 13 reproductoras/semiental, con 2.2 partos/reproductora y 10.2 crías/parto al año. Como se puede observar en la Figura 6, estos centros incluyen la ceiba-precebas, ceiba-lechones y ceiba-cochinitas. De forma similar a los Centros Genéticos, se consideró para la etapa de crías el índice de desecho del 20% (debido a que todos los machos se desechan), para los lechones del 15%, y para los cochinitos del 15%. Así mismo se tienen tasas de muertes que fueron de 12% para la etapa de crías, del 3.3% para las precebas, del 2% para los lechones, del 1% para los cochinitos, y del 3% para las ceibas (Peña y Col., 2013).

El Centro de Producción consideró un índice de 10 reproductoras/semiental con 2.7 partos/reproductora y 10.1 crías/parto al año. Como se puede observar en la Figura 7, estos centros incluyen la ceiba-preceba, ceiba-lechones, ceiba-cochinitas y ceiba-comercial. De forma similar a los Centros Genéticos y Multiplicador, se consideró para la etapa de crías el índice de desecho del 15%, para los lechones del 1%, y para los cochinitos del 1%. Además, se tienen tasas de muertes que fueron de 11% para la etapa de crías, del 4% para las precebas, del 5% para los lechones, del 4% para los cochinitos, del 4% para las ceiba-precebas, ceiba-lechones y ceiba-cochinitos, y del 5% para las ceiba-comercial (Peña y Col., 2013).

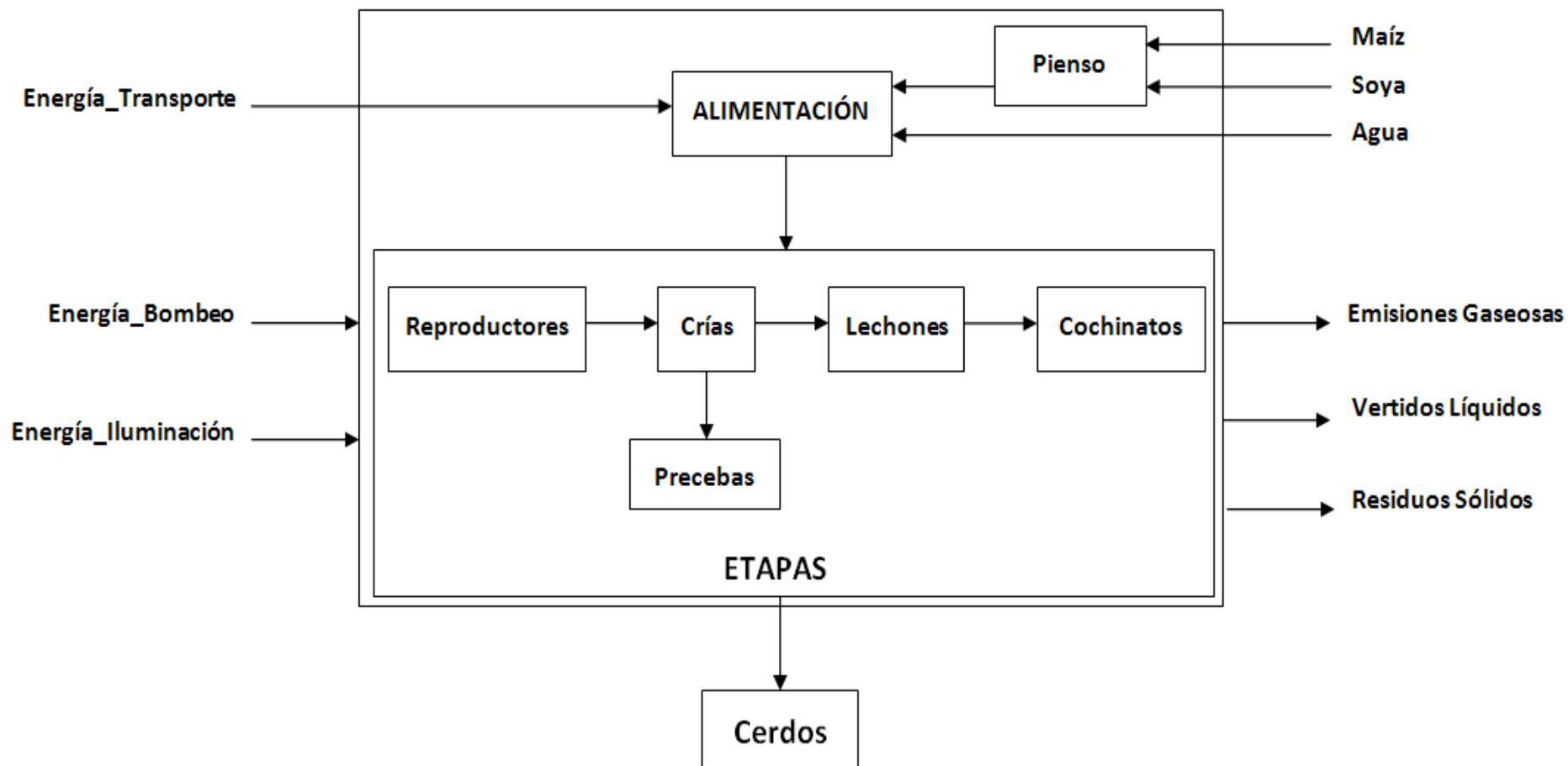


Figura 5. Proceso productivo en el Centro Genético

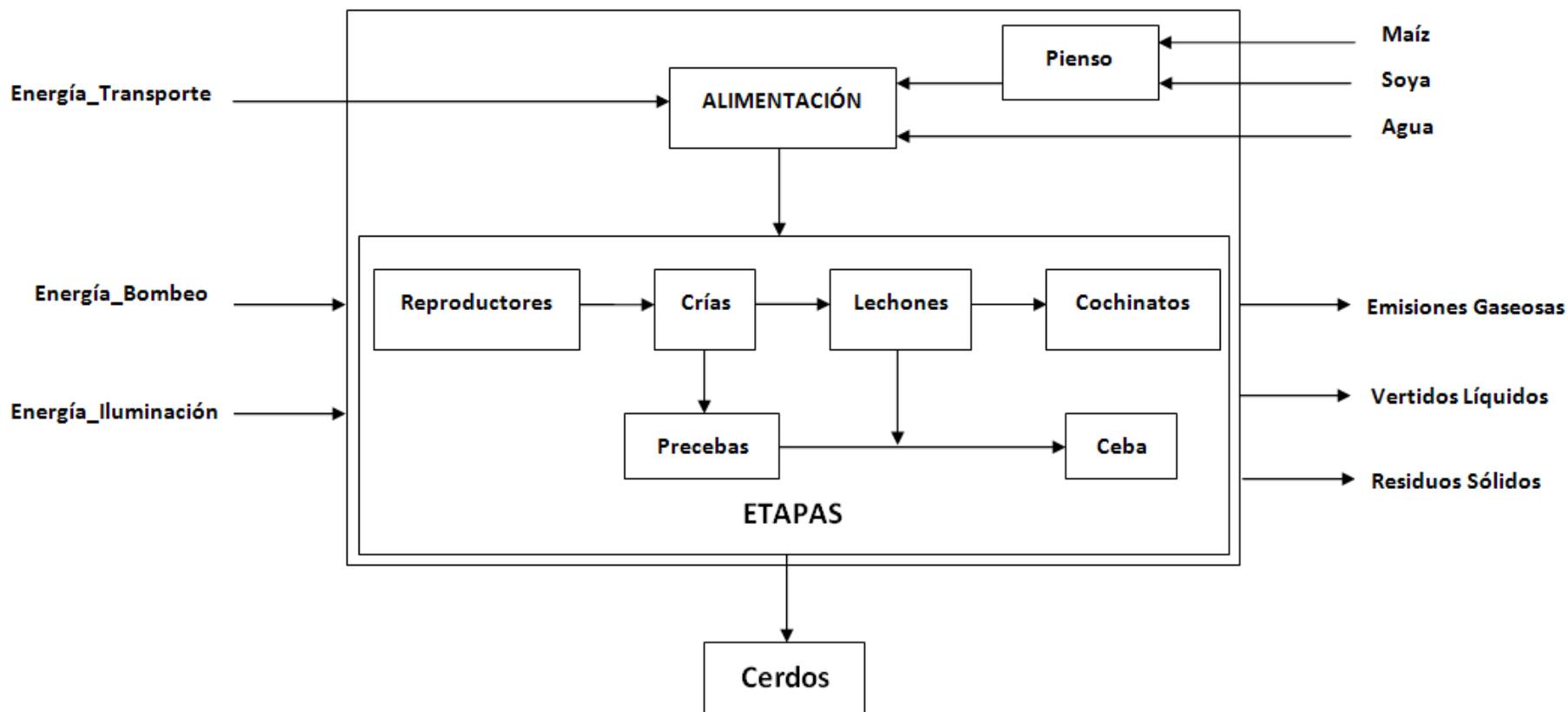


Figura 6. Proceso productivo en el Centro Multiplicador

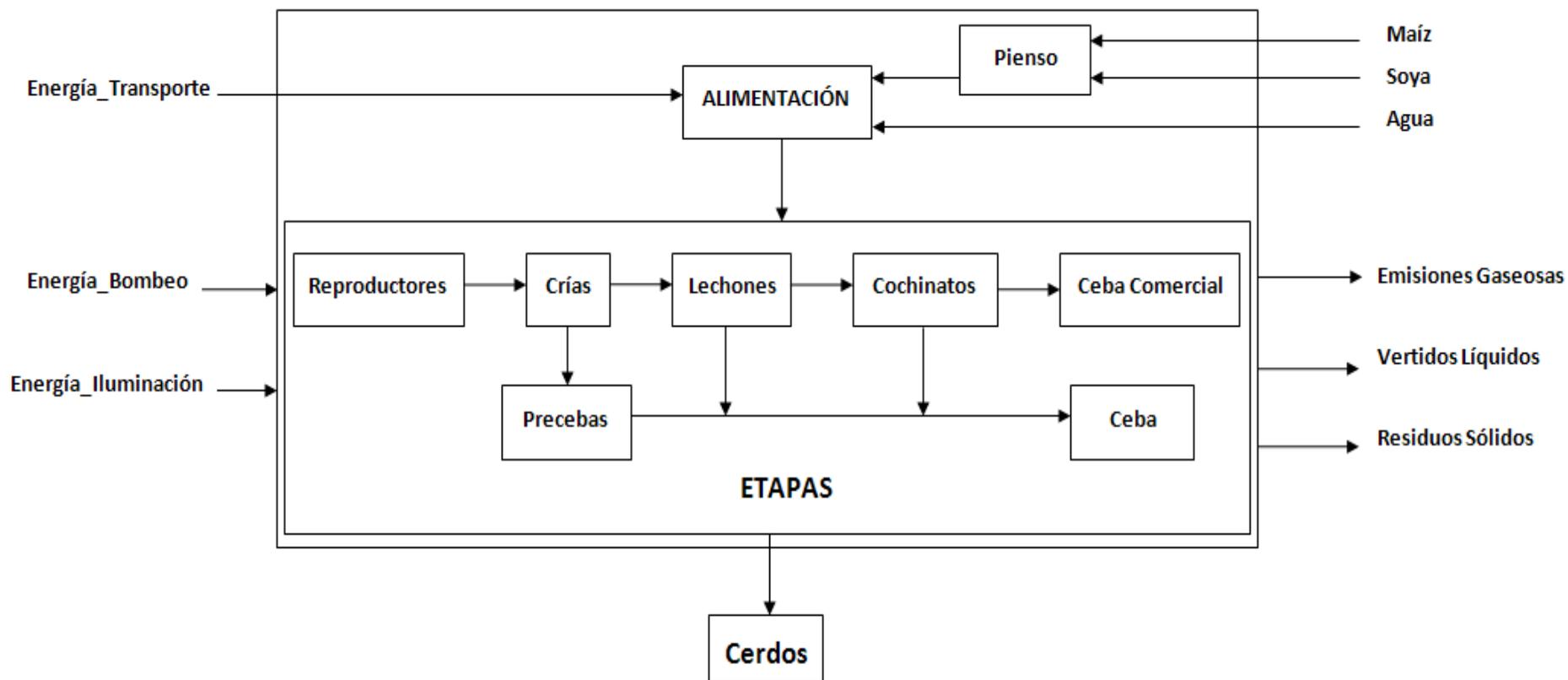


Figura 7. Proceso productivo en el Centro de Producción

### 2.2.3 Principales limitaciones y suposiciones

Para la confección del inventario fue necesario establecer algunas suposiciones que se detallan a continuación:

- Se consideró que el proceso comienza con el parto de las 100 reproductoras y dura por un año.
- Se consideró para cada una de las etapas y para el proceso en general la unidad equivalente de porcino (UEP) que se considera como la masa de cerdos de 50 kg que se producen.
- El consumo de pienso, de agua, y la electricidad en el bombeo de agua, transportación de pienso, e iluminación, así como las excretas generadas fueron determinados para cada animal según su peso vivo, basado en datos históricos de la producción porcina en la Empresa Porcina Guayos.
- Se consideró que los centros utilizan piensos a base de maíz y soya, cuyas cantidades se calcularon en función de los requerimientos de proteínas y carbohidratos de los animales en cada etapa (Tabla 4) y el consumo de pienso total.

**Tabla 4.** Proteínas y carbohidratos necesarios por etapa

	Crías	Precebas	Lechones	Cochinatas	Gestación	Lactantes	Reproductores
<b>%Proteína en pienso</b>	21	18	18	15	12	15	12
<b>%Carbohidratos en pienso</b>	42	37	37	29	24	29	28

- La producción de metano obtenida a partir de la descomposición de la materia orgánica en las lagunas fue calculada considerando la generación 0.35 m<sup>3</sup> de biogás /kg de sólido volátil en las excretas y un 60% de metano en el biogás (Jiménez y Col., 2015).
- El CO<sub>2</sub> emitido se determinó como el 35% de biogás generado (Ribeiro y Silva, 2009).
- El NO<sub>2</sub> emitido fue calculado basado en la concentración de nitrógeno de las excretas porcinas y se consideró que todo este nitrógeno se emite como NO<sub>2</sub>.

Esto constituyó una limitación del presente trabajo teniendo en cuenta que deben ser estudiados los verdaderos mecanismos de degradación del nitrógeno en las lagunas de los centros porcinos.

- Se consideró que los cerdos muertos son quemados y generan emisiones de CO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>, las cuales fueron calculadas a partir de la composición de C y N de cada uno de los componentes del cerdo. Para esto se consideró que el cerdo está compuesto de 80% de carne y un 20% de huesos; que la carne tiene un 41% de agua, 11% de proteínas, un 47% de lípidos y un 1% de cenizas; y que los huesos por su parte tienen un 25% de agua, 30% de proteínas, un 45% de cenizas (Ribeiro y Silva, 2009).

**Tabla 5.** Composición de la carne y los huesos del cerdo

Composición	%
Carne	80
Agua	41.1
Proteína	11.2
Lípidos	47
Carbohidratos	
Cenizas	0.6
<b>Total</b>	<b>100</b>
Huesos	20
Agua	25
Proteína	30
Cenizas (minerales)	45
<b>Total</b>	<b>100</b>

- Se consideró que el 85% del agua total utilizada sale del proceso como residual líquido (Datos históricos de la producción porcina en la Empresa Porcina Guayos).
- La electricidad consumida en los centros porcinos, proviene de la quema de combustible fósil en centrales eléctricas (81.7%), de la generación con gas licuado en ciclos combinados con turbinas de gas (13.0%), de la cogeneración con bagazo (4.6%) y de otras tecnologías renovables (0.7%) (ONE, 2010).

#### 2.2.4 Análisis del inventario de ciclo de vida

El análisis del inventario implica la recolección de datos y los procedimientos de

cálculo para cuantificar las entradas y salidas pertinentes de un sistema producto. Estas entradas y salidas pueden incluir el uso de recursos y gastos de residuos. Partiendo de las limitaciones y suposiciones previamente descritas, se confeccionó el inventario de ciclo de vida, teniendo en cuenta los siguientes elementos:

- Vigencia de los datos (temporalidad): En el caso de estudio, se obtienen los datos a partir de los informes de la Empresa Porcina de Sancti Spíritus y de tres centros de la provincia: Genético del Cabaiguán, Multiplicador en Tamarindo e Integral en Cacahual, datos que son analizados estadísticamente y se seleccionan los más representativos para el proceso de evaluación de impactos. También se utilizaron datos históricos de la producción porcina en la Empresa Porcina Guayos. Se complementan con los resultados con balances de materiales y energía, valores e índices reportados en la literatura, estudios similares de ACV, publicaciones periódicas o digitales referenciadas.
- Cobertura geográfica: los datos se corresponden a los Centros Porcinos de la provincia de Sancti Spíritus: Genético del municipio Cabaiguán, Multiplicador de Tamarindo en el municipio La Sierpe e Integral en el Cacahual en el municipio de Sancti Spíritus.
- Precisión: cuando los datos responden a un rango de valores, se trabaja con el valor extremo que contribuya al mayor impacto ambiental.
- Representatividad: se usan datos reales específicos del proceso base, de bases de datos y de la literatura referenciada.

### **2.2.5 Evaluación de impacto del ciclo de vida**

Para el análisis del ACV se utilizó el software libre OpenLCA versión 1.3.1 (<http://www.openlca.org/>), con la Base de Datos (BD) ecoinvent 2.2. Se utilizó la metodología ReCiPe con categorías de impactos finales en una perspectiva jerárquica (Goedkoop y Col., 2008). Por lo tanto, fueron estudiadas las categorías de impacto "Calidad del Ecosistema", "Salud Humana" y "Recursos Fósiles". Los impactos ambientales fueron cuantificados en "puntos" para las categorías de daño y para el "Impacto Total". Teniendo en cuenta que la metodología ReCiPe permite determinar la relación entre categorías intermedias y finales, se pudo determinar la relación entre ellas.

### **2.2.6 Valoración de alternativas de mejoras**

Una vez realizada la evaluación ambiental de ciclo de vida se valoran alternativas que

permitan reducir el impacto ambiental del proceso. Para esto se deben tener en cuenta alternativas que minimicen el uso de recursos materiales (materias primas) y las emisiones de residuales sólidos, líquidos y gaseosos al medio.

### **2.3 Conclusiones Parciales**

A partir de lo antes expuesto se pudo concluir que con la metodología de análisis de ciclo de vida:

- Se definió la unidad funcional y el alcance de este estudio, describiéndose el proceso de producción porcina para los Centros Genético, Multiplicador y de Producción.
- Se logró presentar las principales limitaciones y suposiciones consideradas para la recolección del inventario de ciclo de vida y para asegurar la calidad y veracidad de los datos.
- Se explicó que la metodología empleada (ReCiPe) permite determinar la contribución de las categorías de impacto intermedias a las categorías finales.

### **Capítulo 3. Evaluación del Impacto Ambiental de la Producción Porcina**

En este capítulo se utiliza el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) como herramienta para evaluar el impacto ambiental que provoca la producción porcina. La información proveniente de la Evaluación del Ciclo de Vida ayuda a centrar los esfuerzos y disponer de una estrategia para la toma de decisiones que tribute a mejoras ambientales del proceso.

A partir de los resultados del Inventario ([Anexo 1](#)) se realizó la evaluación de impacto ambiental del proceso de producción porcina en la provincia de Sancti Spíritus, teniendo en cuenta todo el ciclo de vida del proceso y los límites anteriormente expuestos en el epígrafe 2.2.2.

#### **3.1 Impacto ambiental por etapas en cada centro**

Teniendo en cuenta que la producción porcina se lleva a cabo de diferentes formas en los distintos centros existentes, se analizó primeramente el impacto de cada una de las etapas del proceso en el Centro Genético, el Centro Multiplicador y el Centro de Producción ([Figura 8A-C](#)). Para este análisis se consideró que en cada etapa se produce una unidad equivalente de ganado porcino (1 cerdo de 50 kg).

La [Figura 8](#) mostró un impacto similar para las etapas crías, lechones, cochinos y reproductores. Este comportamiento se debe a que dichas etapas tuvieron iguales índices de producción y consumo. Por ejemplo, las crías estuvieron el mismo número de días en esta etapa, consumieron las mismas cantidades de pienso (soya y maíz) y electricidad, y emitieron igual número de gases de efecto invernadero debido a la descomposición de las excretas al aire libre.

Por otra parte, se observó un impacto 17 veces mayor para la etapa de preceba en los Centros Multiplicador y de Producción (respecto al Centro Genético) debido a que en estos centros la preceba utiliza los mismos índices diarios, pero permanecen allí 61 días mientras que en el Centro Genético permanecen solo 10 días en preceba ([Figura 8A-C](#)). Note que el impacto no se incrementa proporcionalmente debido a que los índices de consumo aumentan con el peso del animal de forma exponencial (Datos Empresa Porcina Guayos).

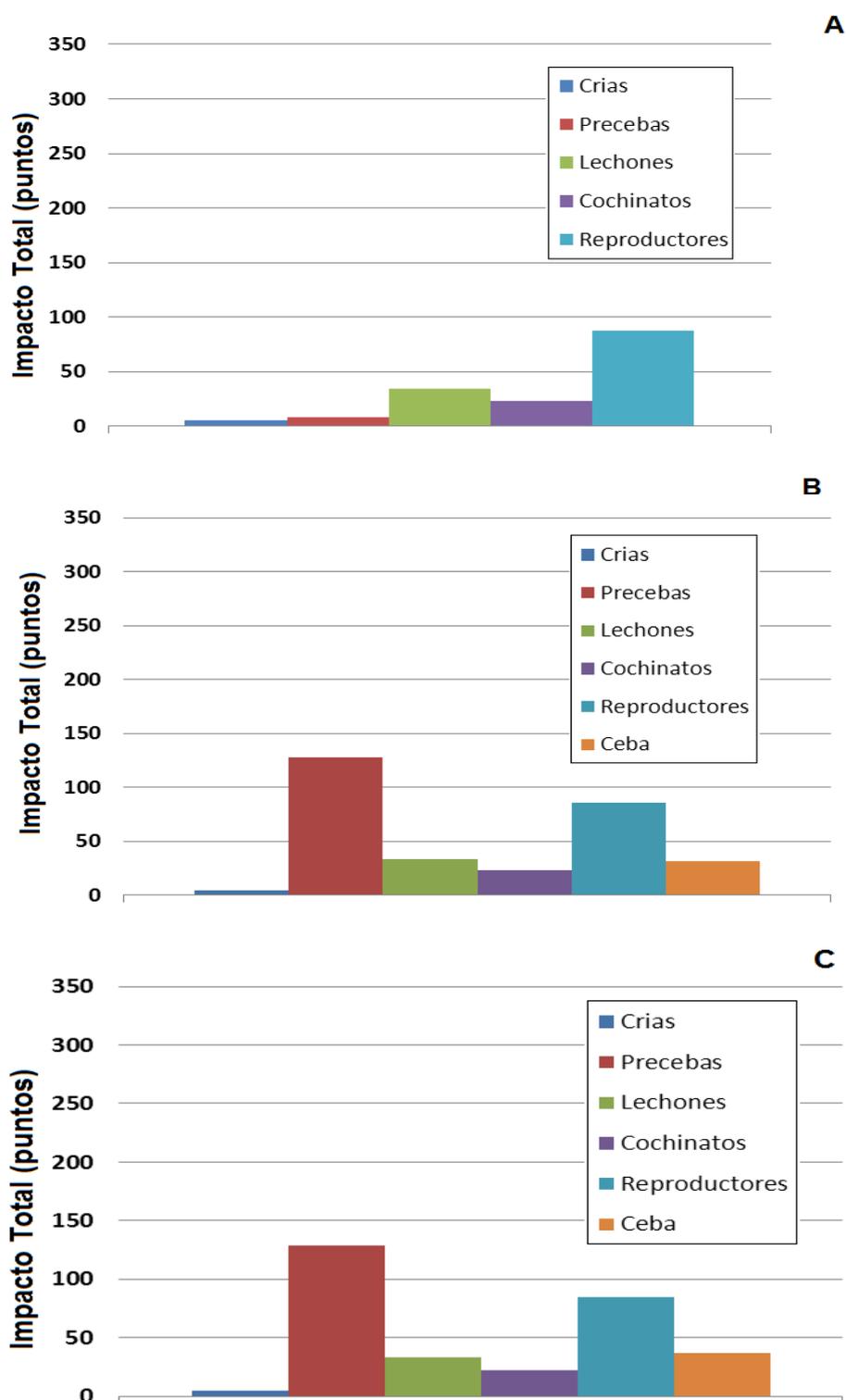


Figura 8. Impacto Total de cada una de las etapas para los Centros Genético (A), Multiplicador (B) y de Producción (C).

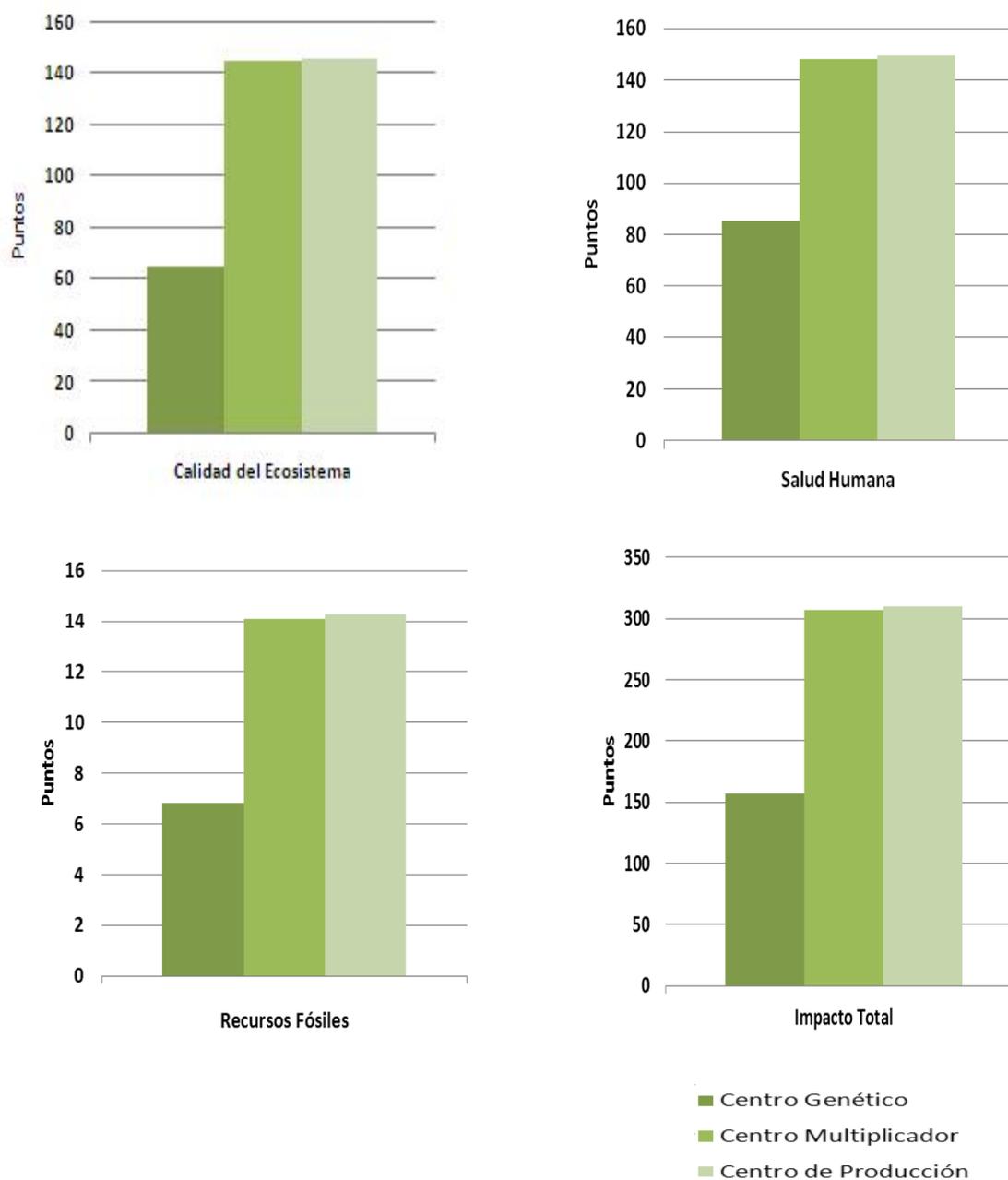
Se observó también durante este análisis (Figura 8A-C), que se produce un impacto asociado a la ceba en los Centros Multiplicador (32 puntos) y de Producción (36 puntos), el cuál no existió el Centro Genético. Este impacto fue ligeramente superior en los Centros de Producción ya que estos son los únicos que incluyen la ceba comercial (ceba de los cerdos proveniente de la etapa de cochinatas), además de la ceba-preceba (ceba de los cerdos proveniente de la etapa de preceba), la ceba-lechones (ceba de los cerdos proveniente de la etapa de lechones) y la ceba-cochinatas (ceba de los cerdos proveniente de la etapa de cochinatas).

### **3.2 Impacto en la "Calidad del Ecosistema", la "Salud Humana", los "Recursos Fósiles" e "Impacto Total" de los Centros Genético, Multiplicador y de Producción**

La Figura 9 mostró el "Impacto Total" debido al impacto de cada una de las etapas de los Centros Genético, Multiplicador y de Producción. Así mismo, se mostró el impacto para las categorías de daño "Calidad del Ecosistema", "Salud humana" y "Recursos Fósiles".

Al analizar el impacto sobre la "Calidad del Ecosistema" (Figura 9) se observó que el Centro Genético tuvo el menor impacto, con 65 puntos, siendo 2.2 veces inferior al de los Centros Multiplicador y de Producción con valores de 145 y 146 puntos, respectivamente. De forma similar, se observó que el impacto sobre la "Salud humana" fue 1.7 veces menor para el Centro Genético (86 puntos) con respecto al Multiplicador (148 puntos) y al de Producción (149 puntos) (Figura 9). Para la categoría "Recursos Fósiles" se observó también un comportamiento similar (con valores 10 veces menores), siendo de 7 puntos para el Centro Genético, 14 puntos para el Multiplicador y el de Producción. Por tal motivo, el Centro Genético fue el que generó el menor impacto sobre medio ambiente con un "Impacto Total" 2 veces menor que los dos centros restantes (Figura 9).

Este resultado está asociado a que los Centros Genéticos tienen una etapa de preceba que dura sólo 10 días y a que, en los mismos, no existen las etapas de ceba-preceba, ceba-lechones, ceba-cochinatas y ceba-comercial (ver sección 3.1). Esto conlleva a que se generen menores volúmenes de residuales, reduciéndose las emisiones de gases de efecto invernadero y la cantidad de recursos necesarios (por ejemplo, piensos y energía) para satisfacer dichos procesos productivos.



**Figura 9.** Impacto en la "Calidad del Ecosistema", la "Salud Humana", los "Recursos Fósiles" e "Impacto Total" de los Centros Genético, Multiplicador y de Producción.

Estudios previos (utilizando el método de evaluación Impacto 2002+) han reportado que el 92.5% del "Impacto Total" de la producción porcina es causado por la categoría "Calidad del Ecosistema" (Díaz Peña y Col., 2012). Sin embargo, en este estudio la mayor contribución al "Impacto Total", la tuvieron las categorías "Calidad del

Ecosistema” y la “Salud Humana” con un 50 y 45%, respectivamente. Así mismo, la mayor contribución a la categoría “Calidad del Ecosistema” estuvo dada por la ocupación de tierras ( $\approx 71\%$ ) y el cambio climático ( $\approx 25\%$ ), mientras que la formación de partículas ( $\approx 65\%$ ) y el cambio climático ( $\approx 35\%$ ) tuvieron el mayor impacto sobre la “Salud Humana”. El impacto sobre los recursos naturales representó menos del 6% del “Impacto Total”, debiéndose el 100% al agotamiento de los mismos (Estos resultados no fueron mostrados).

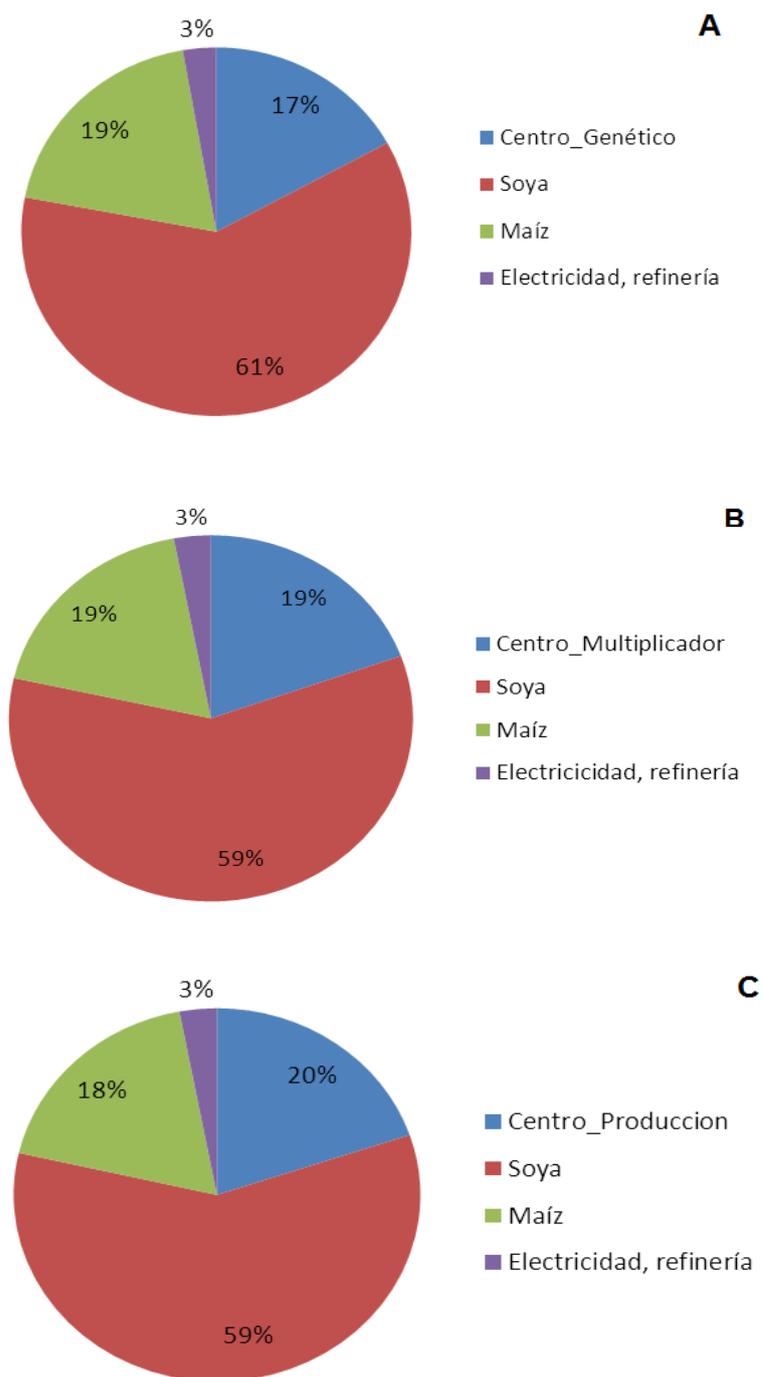
### 3.3 Contribución de los flujos de entrada a los impactos totales en los Centros Genético, Multiplicador y de Producción

Con el objetivo de mostrar cuales de las corrientes de entrada (soya, maíz y electricidad) o salida (emisiones provenientes de la actividad de los centros graficadas como “Centro\_Genético”, “Centro\_Multiplicador” o “Centro\_Producción” según corresponda) del sistema tienen mayor contribución al “Impacto Total”, se realizaron los gráficos de la [Figura 10](#).

En general, se observó un comportamiento muy similar para los tres centros, siendo el mayor impacto debido al consumo de soya (59-61%), seguido del consumo de maíz (18-19%), de las emisiones provenientes de la actividad de los centros (17-20%) y del consumo de electricidad (3%) ([Figura 10](#)). Las ligeras variaciones observadas en el consumo de soya y maíz podrían estar asociadas a la actividad específica que realizan los centros. Por ejemplo, un mayor contenido proteico es necesario para el crecimiento y desarrollo de las crías, precebas y lechones, lo cual conlleva a un mayor uso de la soya, ya que esta posee un contenido de proteínas 4.2 veces superior al del maíz ([Tabla 21](#)). De forma análoga, la actividad de preceba necesita mayores requerimientos de carbohidratos, los cuales son 2.8 veces superiores en el maíz.

**Tabla 6. Características del maíz y la soya**

Características en el grano	Maíz	Soya
% Proteína	8.8	36.5
% Carbohidratos	70.5	25.0
% Grasa	4.0	17.0
% Agua	8.5	8.5
% Cenizas	1.1	4.5
% Fibra	7.1	8.5



**Figura 10.** Contribución de los flujos de entrada a los impactos totales en los Centros Genético (A), Multiplicador (B) y de Producción (C)

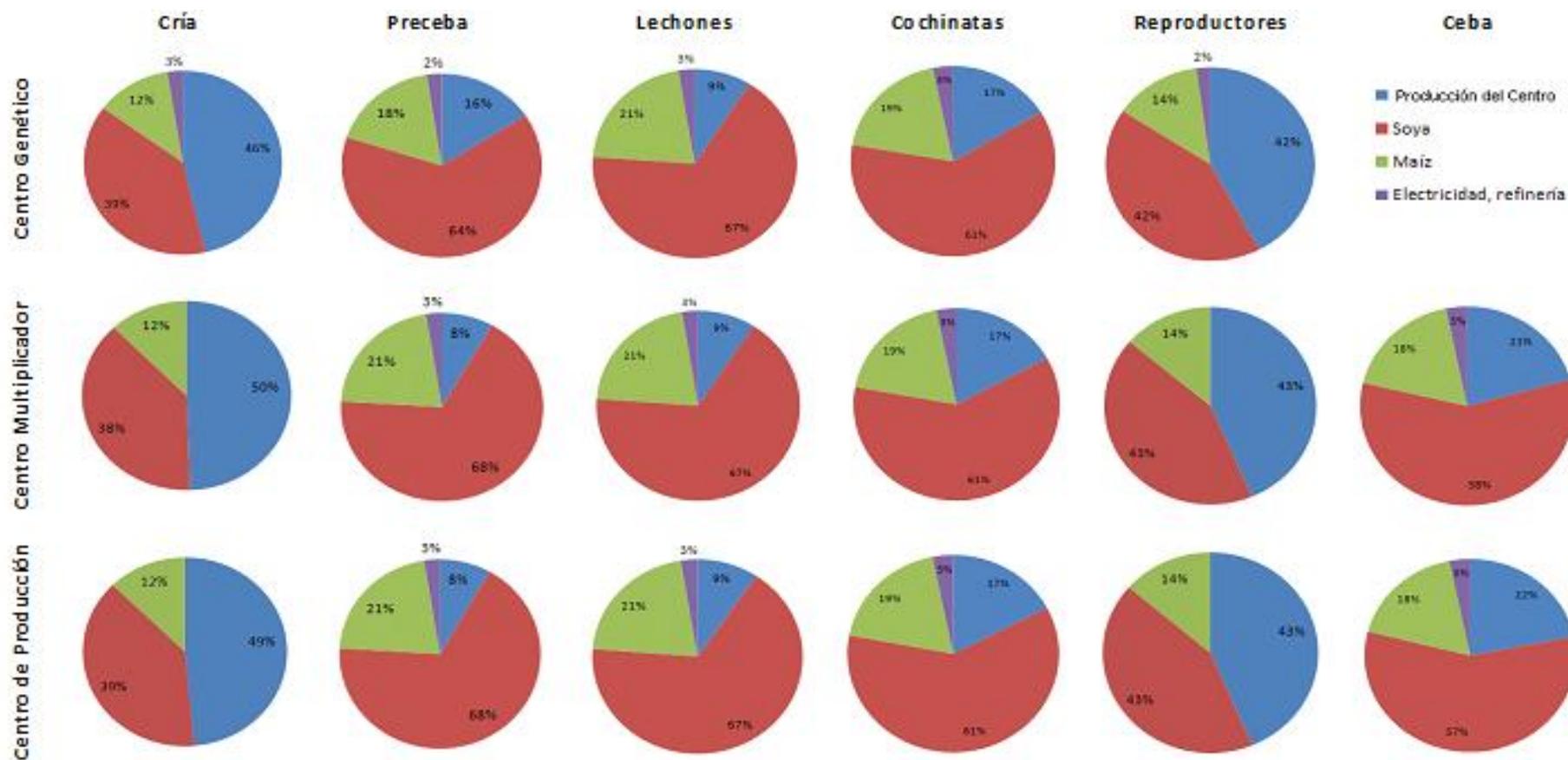
Energía, refinería: impacto que tiene la generación de energía eléctrica en las termoeléctricas utilizando combustible fósil.

En la fabricación de piensos en Sancti Spíritus (Cuba), el 100% de la soya y el 70% del maíz que se emplea como materia prima es importado (Comunicación personal con especialistas de la UEB Alimentaria de la Empresa Porcina de Sancti Spíritus). Esto evidencia que la actividad agrícola de las producciones de soya y maíz se realiza fuera del país. Por tal motivo, expandir las fronteras de este estudio para incluir en el inventario la actividad agrícola de la soya y el maíz no fue objetivo del presente trabajo. De esta forma se hace necesario trabajar en la reducción de las emisiones en cada centro, así como del consumo de electricidad como la vía más importante para mitigar sus impactos ambientales en Cuba.

### 3.4 Contribución de los flujos por etapas en cada centro

La [Figura 11](#) mostró la contribución de los flujos de entrada o salida para cada una de las etapas (crías, preceba, lechones, cochinos, reproductores y ceba) en cada centro: Centro Genético, Centro Multiplicador y Centro de Producción. Allí se pudo observar que en las crías y los reproductores el mayor peso dentro del impacto ocurre por la emisión de residuos durante el proceso productivo (denotado en la [Figura 11](#) como "Producción del Centro"). Esto se debe a los bajos índices de consumo de pienso para las crías (1.65 kg/cría), lo que implica un menor peso para el consumo de soya y maíz con respecto al impacto asociado a la Producción del Centro (46-50%). Para el caso de los reproductores, aunque el índice promedio (entre sementales y reproductoras) de consumo de pienso es de 810 kg/reproductor, resulta significativo que el índice promedio de generación de excretas es de 2410 kg/reproductor, lo cual hace que el impacto asociado a la Producción del Centro implique un peso superior (42-43%).

Las contribuciones de los flujos de entrada y salida para los lechones de los tres centros y para las precebas de los Centros Multiplicador y de Producción tuvieron un comportamiento similar. Esto se debió a que dichas precebas tienen los mismos índices de consumo que los lechones, con un número de días relativamente cercanos (61 en preceba y 75 en Lechones). Para el caso de los reproductores, se obtuvo un comportamiento semejante para los tres centros, estando asociado (los más representativos) el 42-43% a la Producción del Centro, el 42-43% al consumo de soya, y el 14% al consumo de maíz ([Figura 11](#)). Los consumos de electricidad (Electricidad, refinera) en las crías y reproductores de los Centros Multiplicador y de Producción no se muestran en la [Figura 11](#), ya que estuvieron por debajo del 2% recomendado como límite inferior en el OpenLCA.



**Figura 11.** Contribución de los flujos de entrada y salida para cada una de las etapas (crías, precebas, lechones, cochinitos, reproductores y ceba) en los Centros Genético, Multiplicador y de Producción

Electricidad, refinería: Impacto de la generación de energía eléctrica en termoeléctricas utilizando combustible fósil.

### 3.5 Evaluación de alternativas de mejoras

Una de las ventajas del ACV es que permite evaluar oportunidades de mejoras ambientales en un proceso productivo o servicio. De los resultados anteriores se pudo concluir que las alternativas de mejoras ambientales para la producción porcina deben enfocarse en mitigar las emisiones asociadas a los procesos productivos de cada centro. Por tal motivo se evaluaron las siguientes alternativas:

1. Reducción del consumo de agua de limpieza de corrales en un 40% (**A1**).
2. Aprovechamiento del metano emitido por la descomposición descontrolada de la materia orgánica en las lagunas para la sustitución de la energía que se consume en cada centro (**A2**).
3. Recuperación del nitrógeno emitido por la descomposición descontrolada de la materia orgánica en las lagunas (**A3**).
4. Efecto conjunto de las alternativas A1, A2 y A3 (**A4**).

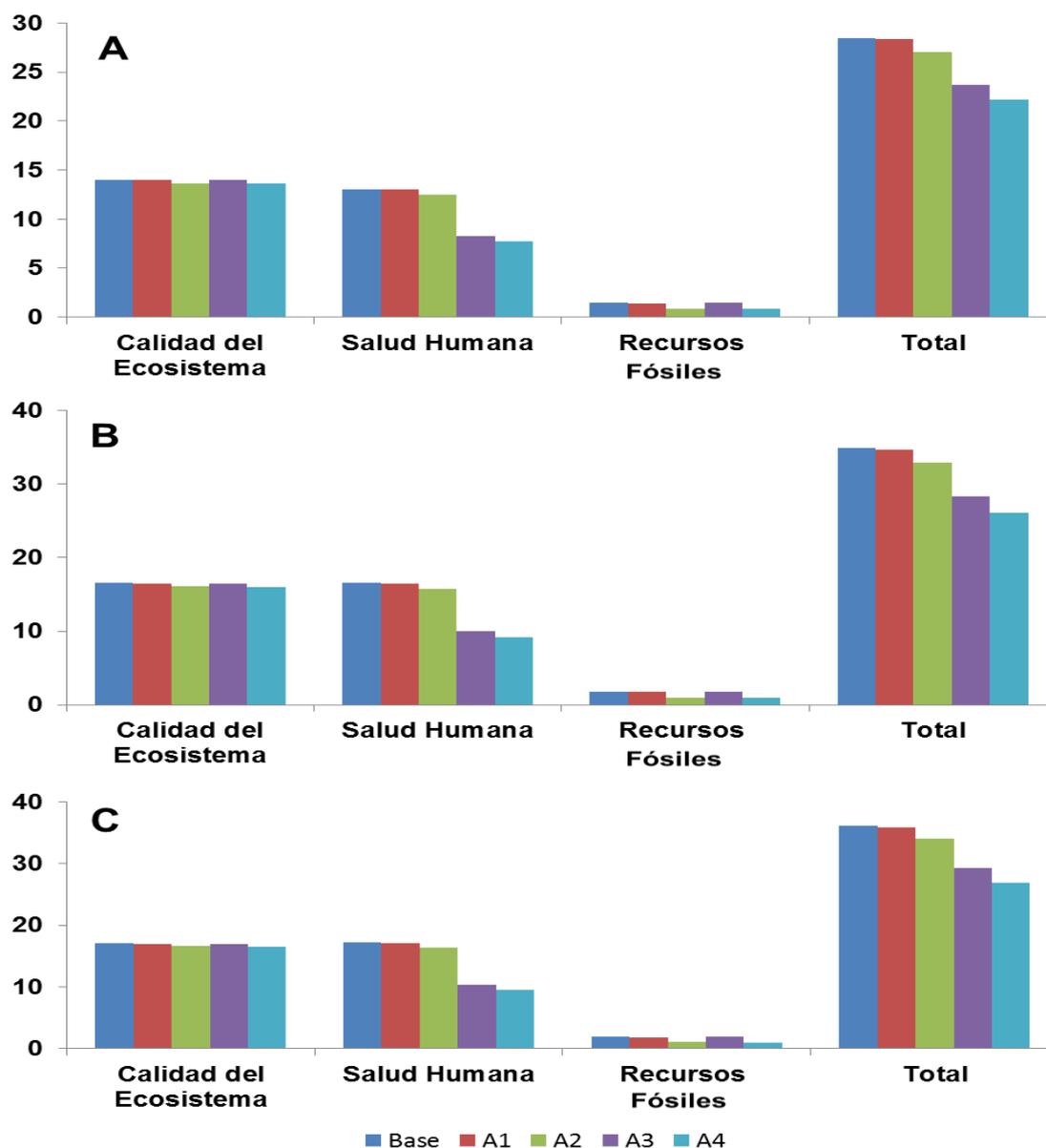
Los inventarios para cada una de las alternativas se muestran en los Anexos 2-5.

La [Figura 12](#) mostró el efecto de aplicar las alternativas **A1**, **A2**, **A3** y **A4** sobre la alternativa base (impacto de los centros sin aplicar ninguna alternativa de mejora). En sentido general se observó un efecto similar de las alternativas de mejora para los tres centros ([Figura 12A-C](#)). De esta forma, la reducción de consumo de agua en un 40% (**A1**), redujo ligeramente el impacto total con respecto a la alternativa base, lo cual demostró que el consumo de agua no ejerce una fuerte contribución a los efectos ambientales de la producción porcina.

Sin embargo, el aprovechamiento del metano emitido por la descomposición descontrolada de la materia orgánica en las lagunas, para la sustitución de la energía que se consume en cada centro (**A2**), causó una reducción del 5% del impacto total con respecto a la alternativa base. Este efecto redujo el impacto causado por el uso de combustibles fósiles y el impacto asociado a las emisiones del proceso productivo de los centros ([Figura 12](#)). Por tal motivo, la alternativa (**A2**) puede ser considerada como una prioridad para mitigar el impacto ambiental de los centros porcinos estudiados, lo cual concuerda con estudios que reportan entre un 4.5 y 12% de mejoras cuando los residuales son empleados para la producción de biogás ([Díaz Peña y Col., 2012](#)).

Por su parte, la recuperación del nitrógeno emitido por la descomposición descontrolada de la materia orgánica en las lagunas (**A3**) redujo un 17% el impacto total de los centros porcinos. Este efecto redujo fundamentalmente el impacto sobre la categoría "Salud Humana" originado por las emisiones de los procesos productivos ([Figura 12](#)). Este resultado se debe a que las emisiones de nitrógeno fueron

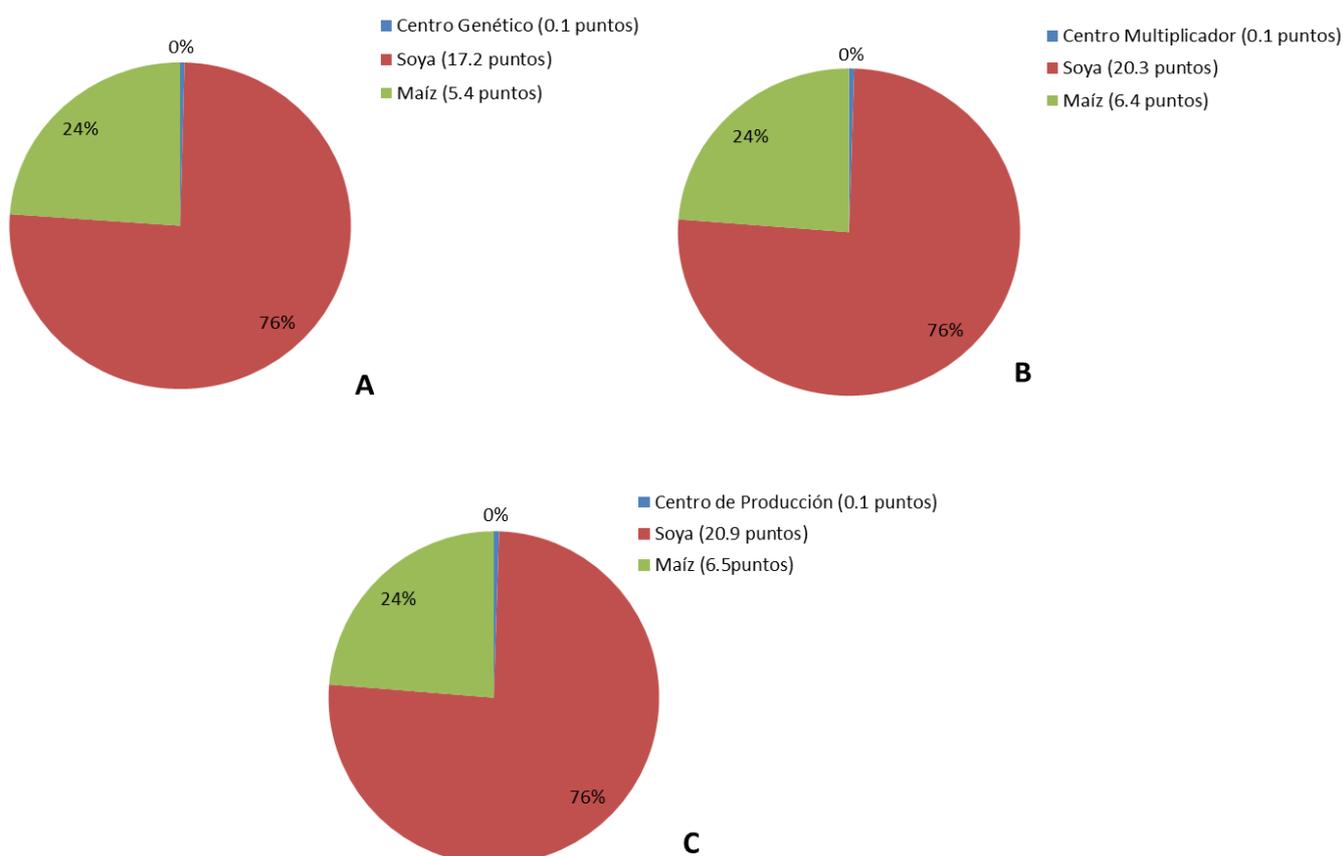
consideradas como NO<sub>2</sub> el cual es causante del efecto invernadero en magnitudes 135 veces superiores al CO<sub>2</sub>.(IPCC, 2013). Por tal motivo, debe profundizarse sobre las verdaderas formas en que se emite el nitrógeno en las lagunas de estos centros porcinos.



**Figura 12.** Impacto en la "Calidad del Ecosistema", la "Salud Humana", los "Recursos Fósiles" e "Impacto Total" de los Centros Genético (A), Multiplicador (B) y de Producción (C) cuando se evalúan las alternativas A1, A2, A3 y A4

Finalmente, el efecto conjunto de las alternativas A1, A2 y A3 (A4), redujo el 22% del "Impacto Total" de estos centros, reduciendo fundamentalmente los impactos

asociados a las categorías Salud Humana y Recursos Fósiles (Figura 12). Al comparar la Figura 10A-C con la Figura 13A-C se pudo observar la reducción del impacto causado por el uso de electricidad y por las emisiones en los Centros Genéticos, Multiplicador y de Producción, quedando solo el impacto causado por el consumo de los productos maíz y soya.



**Figura 13.** Contribución de los flujos de entrada a los impactos totales en los Centros Genético (A), Multiplicador (B) y de Producción (C) cuando se evalúa la alternativa A4

Aunque expandir las fronteras hacia la actividad agrícola de la producción de maíz y soya estuvo fuera de los objetivos de esta investigación, es importante destacar que el 30% del maíz consumido es de producción nacional. Por lo tanto, reducir el impacto ambiental de la producción de maíz podría causar una reducción del impacto total de la producción porcina en los tres centros estudiados.

### 3.6 Conclusiones Parciales

De la evaluación de impacto del ciclo de vida de la producción porcina se pudo concluir que:

- Las etapas de crías, lechones, cochinitas y reproductores tienen similar contribución al impacto de los Centros Genético, Multiplicador y de Producción.
- El impacto de la etapa de preceba es 17 veces mayor en los Centros Multiplicador y de Producción respecto al Centro Genético ya que los cerdos permanecen en los dos primeros por 61 días mientras permanecen solo 10 días en el tercero.
- Los Centros Multiplicador y de Producción tienen un impacto debido a la Ceba que no aparece en el Centro Genético.
- El Centro Genético genera el menor impacto sobre medio ambiente siendo 2 veces menor que los dos centros restantes.
- La mayor contribución al Impacto Total la tienen las categorías "Calidad del Ecosistema" y la "Salud Humana" con un 50 y 45%, respectivamente.
- La contribución de cada corriente al impacto ambiental fue muy similar para los tres centros, siendo el mayor impacto debido al consumo de soya (59-61%), seguido del consumo de maíz (18-19%), de las emisiones provenientes de la actividad de los centros (17-20%) y del consumo de electricidad (3%).
- Las alternativas **A2** y **A3** reducen el impacto ambiental un 5 y un 17%, respectivamente y constituyen los principales potenciales para las mejoras ambientales en los centros porcinos estudiados.

## **Conclusiones Generales**

En sentido general se pudo concluir del presente trabajo que:

- Se definió el objetivo y alcance del estudio, incluyendo la descripción de cada una de las etapas de los procesos productivos para los Centros Genéticos, Multiplicadores y de Producción.
- Se confeccionó un inventario de ciclo de vida para los Centros Genéticos, Multiplicadores y de Producción, definiéndose las principales suposiciones y limitaciones realizadas para la cuantificación de los flujos de entrada y salida de estos procesos.
- Se determinó que los Centros Multiplicadores y de Producción generan el mayor impacto ambiental siendo dos veces mayor que el Genético, donde las mayores afectaciones ocurren a las categorías de daño "Salud Humana" y "Calidad del Ecosistema".
- Se constató que aunque los consumos de soya y maíz contribuyen en mayor medida a los impactos totales ( $\approx 80\%$ ), el mayor potencial de mejora ambiental está en la reducción de las emisiones asociadas a los procesos productivos ( $\approx 20\%$ ).

## **Recomendaciones**

En función de los resultados obtenidos, se recomienda:

- Ampliar las fronteras del estudio hacia la actividad agrícola de la producción nacional de maíz.
- Profundizar en el mecanismo de ocurrencia de las emisiones de nitrógeno en las lagunas de los centros porcinos.
- Proponer a la entidad que se utilicen estos resultados como apoyo para la toma de decisiones desde la dimensión ambiental.

## **Referencias Bibliográficas**

(2001). "NC ISO 14042. "Environmental management. Life Cycle Assessment. Assessment of Life Cycle Impact". National Office of Normalization. Havana City. Cuba. ."

(2005). "NC ISO 14040. "Environmental management. Life Cycle Assessment. Principles and framework". National Office of Normalization. Havana City. Cuba."

AEGA; INTA, Á. E. d. G. A. A. I. N. d. T. A. I. (2011). Módulo Porcino.

Alonso, Y. (2009). Evaluación del Impacto Ambiental de la producción de Rebajo Guante Hidrofugado mediante la utilización del Análisis de Ciclo de Vida, Univesidad "Marta Abreu" de las Villas.

Azapagic, A. (1999). "Life cycle assessment and its application to process selection, design and optimisation." Chemical Engineering Journal.

Benítez, W. y. S., Manuel. (2000). "Aspectos generales de la producción porcina tradicional"., FAO.

Brunori, J. (2012). Producción de cerdo en Argentina.Situación .Oportunidades.Desafíos.

Campos, E.y Col. (2001) Aprovechamiento energético de lodos residuales y purines.Producción de Biogás.

Díaz Peña, M.y Col. (2012) Aplicación de la metodología de análisis de ciclo de vida para la mejora ambiental en áreas de incidencia de la producción porcina en Cienfuegos, Cuba.

FAO; INTA, O. d. I. N. U. p. I. A. y. I. A. F.-I. N. d. T. A. I. (2012). "Manual de Buenas Prácticas Pecuarias (BPP) para la producción y comercialización porcina familiar. ."

Ferreira, M. A. (2001). Estudo da Cadeia Produtiva do Polietileno Tereftalato (PET) na região Metropolitana de Salvador como Subsidio para a Análise do Ciclo de Vida. Monografia do Curso de Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo. Escola Politécnica– Universidade Federal da Bahia, Salvador.: 96.

Figueroa, V. (1994) El Instituto de investigaciones Porcinas, su aporte a la porcicultura cubana y los nuevos desafíos para el futuro Revista Computarizada de Producción Porcina

Goedkoop, M.y Col. (2008). ReCiPe. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level.

<http://www.ecured.cu> Desarrollo Porcino en Cuba.

<http://www.elsitioporcino.com> (2014) Análisis de mercado internacional de cerdo en 2013.

<http://www.openlca.org/> "OpenLCA versión 1.3.1 ".

II Taller Nacional sobre Mecanismo de Desarrollo Limpio, M. (2011) Ejercicio de Conceptualización de Programas de Actividades MDL (PIN POA).Producción Porcina en Cuba

IPCC (2013). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Jiménez, J.y Col. (2015). "Optimization of the specific methanogenic activity during the anaerobic co-digestion of pig manure and rice straw, using industrial clay residues as inorganic additive." Chemical Engineering Journal.

Ly, J.y Col. (2005). Producción porcina en Camboya y Cuba: lo distinto y lo semejante. Revista de la Asociación Cubana de Producción Animal (ACPA).

MAGyP, M. d. A., Ganadería y Pesca. (2011). Anuario Porcino Ministerio de la Agricultura, Ganadería y Pesca.

Martínez del Olmo, I. and F. Fz-Polanco Fz de Moreda (2008) Minimización del Impacto Ambiental y Aprovechamiento Energético de una Explotación Porcina de 3.000 madres

Mederos, C. M.y Col. (2009). Tecnologías y procedimientos para la crianza porcina con alimentos nacionales.

Navarrete, J. R. (2012). Carne de Porcino. Panorama Agroalimentario.

ONE (2010). Oficina Nacional de Estadística de Cuba.

Panichelli, L. (2006). (ACV)de la producción de biodiesel (B100) en Argentina.

Paramio, M. T.y Col. (2011) Manejo y Producción de Porcino.

Peña, J. J.y Col. (2013). Manual de Procedimientos Técnicos para los Centros Genéticos Porcinos. La Habana, Ministerio de la Agricultura. Grupo de Producción Porcina Empresa Genética Porcina.

Reyes Gil, V. M. (2010). "Producción porcina y el medio ambiente". Revista Académica de Economía

Ribeiro, K. and E. E. Silva (2009). "Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil." biomass and bionergy.

UNEP (2003). Evaluation environmental impacts in life cycle assessment. U. N. E. Programme. Francia.

Vicari, M. P. (2012). "Efluentes en Producción Porcina en Argentina:Generación,Impacto Ambiental y Posibles Tratamientos". Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Católica de Argentina.

Anexos

## Anexo 1. Inventario

Inventario				
Entradas	Unidades	Centro Genético	Centro Multiplicador	Centro de Producción
Pienso (t/año)	t	653.22	1013.76	1274.93
Maíz	t	215.26	320.27	403.14
Soya	t	233.78	349.74	440.55
E. Bombeo (MWh/año)	MWh	7.10	14.50	19.12
E. Iluminación (MWh/año)	MWh	3.85	7.66	10.04
E. Transp. Pienso (MWh/año)	MWh	45.70	70.92	89.19
E. Total suma (MWh/año)	MWh	56.65	93.09	118.35
Consumo de Agua Total (m3/año)	m3	12021.26	44418.37	62166.07
Salidas				
Excretas (t/año)	t	798.84	1411.35	1788.28
Agua residual	t	10218.07	37755.62	52841.16
Residuales totales	t	11016.91	39166.97	54629.44
Cerdos vivos (UEP-50kg)	u	2640.13	3344.72	4102.82
Muertes (UEP-50kg)	u	75.78	154.42	301.41
Emisiones CH4	t	27.00	47.71	60.45
Emisiones CO2	t	44.25	78.42	100.66
Emisiones NO2	t	11.07	19.63	25.26

## Anexo 1. Continuación

Crias				
Entradas	Unidades	Centro Genético	Centro Multiplicador	Centro de Producción
Pienso (t/año)	t	3.19	3.25	4.00
Maíz	t	1.37	1.40	1.72
Soya	t	1.47	1.50	1.84
E. Bombeo (MWh/año)	MWh	0.21	0.22	0.27
E. Iluminación (MWh/año)	MWh	0.07	0.07	0.09
E. Transp. Pienso (MWh/año)	MWh	0.22	0.23	0.28
E. Total suma (MWh/año)	MWh	0.51	0.52	0.63
Consumo de Agua Total (m3/año)	m3	331.15	337.78	415.14
Salidas				
Excretas (t/año)	t	16.56	16.89	20.76
Agua residual	t	281.48	287.11	352.87
Residuales totales	t	298.04	304.00	373.63
Cerdos vivos (UEP-50kg)	u	154.88	157.98	194.16
Muertes (UEP-50kg)	u	26.40	26.93	30.00
Emisiones CH4	t	0.56	0.57	0.70
Emisiones CO2	t	1.22	1.25	1.49
Emisiones NO2	t	0.32	0.33	0.39

Anexo 1. Continuación

Precebas				
Entradas	Unidades	Centro Genético	Centro Multiplicador	Centro de Producción
Pienso (t/año)	t	0.11	140.84	145.46
Maíz	t	0.04	53.52	55.27
Soya	t	0.05	57.74	59.64
E. Bombeo (MWh/año)	MWh	0.00	1.10	1.13
E. Iluminación (MWh/año)	MWh	0.00	0.62	0.64
E. Transp. Pienso (MWh/año)	MWh	0.01	9.85	10.18
E. Total suma (MWh/año)	MWh	0.01	11.57	11.95
Consumo de Agua Total (m3/año)	m3	1.88	1705.95	1761.92
Salidas				
Excretas (t/año)	t	0.09	85.30	88.10
Agua residual	t	1.60	1450.05	1497.63
Residuales totales	t	1.69	1535.35	1585.73
Cerdos vivos (UEP-50kg)	u	2.09	130.20	133.97
Muertes (UEP-50kg)	u	0.22	8.89	11.16
Emisiones CH4	t	0.00	2.88	2.98
Emisiones CO2	t	0.01	4.73	4.91
Emisiones NO2	t	0.00	1.18	1.23

Anexo 1. Continuación

Lechones				
Entradas	Unidades	Centro Genético	Centro Multiplicador	Centro de Producción
Pienso (t/año)	t	266.27	86.06	136.84
Maíz	t	101.18	32.70	52.00
Soya	t	109.17	35.28	56.10
E. Bombeo (MWh/año)	MWh	2.29	0.74	1.18
E. Iluminación (MWh/año)	MWh	1.27	0.41	0.65
E. Transp. Pienso (MWh/año)	MWh	18.63	6.02	9.57
E. Total suma (MWh/año)	MWh	22.18	7.17	11.40
Consumo de Agua Total (m3/año)	m3	3559.25	1150.35	1829.16
Salidas				
Excretas (t/año)	t	177.96	57.52	91.46
Agua residual	t	3025.36	977.80	1554.78
Residuales totales	t	3203.32	1035.31	1646.24
Cerdos vivos (UEP-50kg)	u	937.86	304.74	489.96
Muertes (UEP-50kg)	u	22.97	11.31	30.94
Emisiones CH4	t	6.02	1.94	3.09
Emisiones CO2	t	9.93	3.26	5.34
Emisiones NO2	t	2.49	0.82	1.35

Anexo 1. Continuación

Cochinatos				
Entradas	Unidades	Centro Genético	Centro Multiplicador	Centro de Producción
Pienso (t/año)	t	310.68	106.97	159.44
Maíz	t	93.20	32.09	47.83
Soya	t	102.52	35.30	52.61
E. Bombeo (MWh/año)	MWh	4.40	1.52	2.26
E. Iluminación (MWh/año)	MWh	2.24	0.77	1.15
E. Transp. Pienso (MWh/año)	MWh	21.73	7.48	11.15
E. Total suma (MWh/año)	MWh	28.38	9.77	14.56
Consumo de Agua Total (m3/año)	m3	6849.78	2358.45	3515.31
Salidas				
Excretas (t/año)	t	342.49	117.92	175.77
Agua residual	t	5822.32	2004.69	2988.01
Residuales totales	t	6164.80	2122.61	3163.78
Cerdos vivos (UEP-50kg)	u	1436.30	499.77	782.28
Muertes (UEP-50kg)	u	23.21	24.73	52.15
Emisiones CH4	t	11.58	3.99	5.94
Emisiones CO2	t	18.86	6.70	10.17
Emisiones NO2	t	4.71	1.68	2.56

Anexo 1. Continuación

Ceba				
Entradas	Unidades	Centro Multiplicador	Centro de Producción	
Pienso (t/año)	t	605.95	759.97	
Maíz	t	181.78	227.99	
Soya	t	199.96	250.79	
E. Bombeo (MWh/año)	MWh	10.74	14.09	
E. Iluminación (MWh/año)	MWh	5.52	7.24	
E. Transp. Pienso (MWh/año)	MWh	42.39	53.17	
E. Total suma (MWh/año)	MWh	58.65	74.50	
Consumo de Agua Total (m3/año)	m3	37587.49	53360.43	
Salidas				
Excretas (t/año)	t	877.60	1159.30	
Agua residual	t	31949.37	45356.36	
Residuales totales	t	32826.97	46515.66	
Cerdos vivos (UEP-50kg)	u	2145.35	2396.83	
Muertes (UEP-50kg)	u	79.57	176.40	
Emisiones CH4	t	29.67	39.19	
Emisiones CO2	t	48.56	65.03	
Emisiones NO2	t	12.15	16.31	

Anexo 1. Continuación

Reproductoras				
Entradas	Unidades	Centro Genético	Centro Multiplicador	Centro de Producción
Pienso (t/año)	t	63.11	63.11	63.43
Maíz	t	16.50	16.50	16.58
Soya	t	17.91	17.91	18.00
E. Bombeo (MWh/año)	MWh	0.19	0.19	0.19
E. Iluminación (MWh/año)	MWh	0.25	0.25	0.25
E. Transp. Pienso (MWh/año)	MWh	4.42	4.42	4.44
E. Total suma (MWh/año)	MWh	4.85	4.85	4.87
Consumo de Agua Total (m3/año)	m3	1275.59	1275.59	1282.00
Salidas				
Excretas (t/año)	t	237.41	237.41	238.60
Agua residual	t	1084.25	1084.25	1089.70
Residuales totales	t	1321.66	1321.66	1328.30
Cerdos vivos (UEP-50kg)	u	99.00	99.00	99.75
Muertes (UEP-50kg)	u	3.00	3.00	0.00
Emisiones CH4	t	8.02	8.02	8.07
Emisiones CO2	t	12.91	12.91	12.94
Emisiones NO2	t	3.22	3.22	3.22

Anexo 1. Continuación

Sementales				
Entradas	Unidades	Centro Genético	Centro Multiplicador	Centro de Producción
Pienso (t/año)	t	9.86	7.58	5.80
Maíz	t	2.96	2.27	1.74
Soya	t	2.66	2.05	1.57
E. Bombeo (MWh/año)	MWh	0.01	0.01	0.01
E. Iluminación (MWh/año)	MWh	0.03	0.02	0.02
E. Transp. Pienso (MWh/año)	MWh	0.69	0.53	0.41
E. Total suma (MWh/año)	MWh	0.73	0.56	0.43
Consumo de Agua Total (m3/año)	m3	3.60	2.77	2.12
Salidas				
Excretas (t/año)	t	24.33	18.72	14.31
Agua residual	t	3.06	2.35	1.80
Residuales totales	t	27.39	21.07	16.11
Cerdos vivos (UEP-50kg)	u	10.00	7.69	5.87
Muertes (UEP-50kg)	u	0.00	0.00	0.00
Emisiones CH4	t	0.82	0.63	0.48
Emisiones CO2	t	1.32	1.01	0.78
Emisiones NO2	t	0.33	0.25	0.19

Anexo 2. Inventario Alternativa 1 (A1)

Inventario A1				
Entradas	Unidades	Centro Genético	Centro Multiplicador	Centro de Producción
Pienso (t/año)	t	653,22	1013,76	1274,93
Maíz	t	215,26	320,27	403,14
Soya	t	233,78	349,74	440,55
E. Bombeo (MWh/año)	MWh	4,26	8,70	11,47
E. Iluminación (MWh/año)	MWh	3,85	7,66	10,04
E. Transp. Pienso (MWh/año)	MWh	45,70	70,92	89,19
E. Total suma (MWh/año)	MWh	53,81	87,29	110,70
Consumo de Agua Total (m3/año)	m3	7212,75	26651,02	37299,64
<b>Salidas</b>				
Excretas (t/año)	t	798,84	1411,35	1788,28
Agua residual	t	10218,07	37755,62	52841,16
Residuales totales	t	11016,91	39166,97	54629,44
Cerdos vivos (UEP-50kg)	u	2640,13	3344,72	4102,82
Muertes (UEP-50kg)	u	75,78	154,42	301,41
Emisiones CH4	t	27,00	47,71	60,45
Emisiones CO2	t	44,25	78,42	100,66
Emisiones NO2	t	11,07	19,63	25,26

Anexo 3. Inventario Alternativa 2 (A2)

Inventario A2				
Entradas	Unidades	Centro Genético	Centro Multiplicador	Centro de Producción
Pienso (t/año)	t	653,22	1013,76	1274,93
Maíz	t	215,26	320,27	403,14
Soya	t	233,78	349,74	440,55
E. Bombeo (MWh/año)	MWh	7,10	14,50	19,12
E. Iluminación (MWh/año)	MWh	3,85	7,66	10,04
E. Transp. Pienso (MWh/año)	MWh	45,70	70,92	89,19
E. Total suma (MWh/año)	MWh	-35,00	-68,84	-86,82
Consumo de Agua Total (m3/año)	m3	12021,26	44418,37	62166,07
<b>Salidas</b>				
Excretas (t/año)	t	798,84	1411,35	1788,28
Agua residual	t	10218,07	37755,62	52841,16
Residuales totales	t	11016,91	39166,97	54629,44
Cerdos vivos (UEP-50kg)	u	2640,13	3344,72	4102,82
Muertes (UEP-50kg)	u	75,78	154,42	301,41
Emisiones CH4	t	0,54	0,95	1,21
Emisiones CO2	t	44,25	78,42	100,66
Emisiones NO2	t	11,07	19,63	25,26

Anexo 4. Inventario Alternativa 3 (A3)

Inventario A3				
Entradas	Unidades	Centro Genético	Centro Multiplicador	Centro de Producción
Pienso (t/año)	t	653,22	1013,76	1274,93
Maíz	t	215,26	320,27	403,14
Soya	t	233,78	349,74	440,55
E. Bombeo (MWh/año)	MWh	7,10	14,50	19,12
E. Iluminación (MWh/año)	MWh	3,85	7,66	10,04
E. Transp. Pienso (MWh/año)	MWh	45,70	70,92	89,19
E. Total suma (MWh/año)	MWh	56,65	93,09	118,35
Consumo de Agua Total (m3/año)	m3	12021,26	44418,37	62166,07
Salidas				
Excretas (t/año)	t	798,84	1411,35	1788,28
Agua residual	t	10218,07	37755,62	52841,16
Residuales totales	t	11016,91	39166,97	54629,44
Cerdos vivos (UEP-50kg)	u	2640,13	3344,72	4102,82
Muertes (UEP-50kg)	u	75,78	154,42	301,41
Emisiones CH4	t	27,00	47,71	60,45
Emisiones CO2	t	44,25	78,42	100,66
Emisiones NO2	t	0,22	0,39	0,51

Anexo 5. Inventario Alternativa 4 (A4)

Inventario A4				
Entradas	Unidades	Centro Genético	Centro Multiplicador	Centro de Producción
Pienso (t/año)	t	653,22	1013,76	1274,93
Maíz	t	215,26	320,27	403,14
Soya	t	233,78	349,74	440,55
E. Bombeo (MWh/año)	MWh	4,26	8,70	11,47
E. Iluminación (MWh/año)	MWh	3,85	7,66	10,04
E. Transp. Pienso (MWh/año)	MWh	45,70	70,92	89,19
E. Total suma (MWh/año)	MWh	-37,84	-74,64	-94,47
Consumo de Agua Total (m3/año)	m3	7212,75	26651,02	37299,64
Salidas				
Excretas (t/año)	t	798,84	1411,35	1788,28
Agua residual	t	10218,07	37755,62	52841,16
Residuales totales	t	11016,91	39166,97	54629,44
Cerdos vivos (UEP-50kg)	u	2640,13	3344,72	4102,82
Muertes (UEP-50kg)	u	75,78	154,42	301,41
Emisiones CH4	t	0,54	0,95	1,21
Emisiones CO2	t	44,25	78,42	2,01
Emisiones NO2	t	0,22	0,39	0,51