

**UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



**FACULTAD DE BIOLOGÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**



MCIAM
Maestría en Ciencias
en Ingeniería Ambiental
UMSNH

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS
EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“Ecoeficiencia de la producción de huevo para plato mediante la aplicación de análisis
de ciclo de vida y herramientas de manufactura esbelta”**

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Presenta el:

IBQ. Iván Eduardo Estrada González

Director de Tesis:

Dra. Liliana Márquez Benavides

Co-Director:

Dr. Paul Adolfo Taboada González

Morelia, Michoacán, octubre 2019

Índice de tesis

Abstract	13
Resumen	14
Capítulo I. Marco Teórico	15
1.1. Introducción.....	15
1.2. Cambio climático.....	16
1.2.1. Definición, evidencia y consecuencias.....	16
1.2.2. Emisiones de gases de efecto invernadero.....	17
1.3. ¿Qué hace el mundo y México para enfrentar el cambio climático?.....	19
1.4. Impacto Ambiental.	21
1.4.1. Definición y tipos de impacto ambiental.	21
1.4.2. Medición del impacto ambiental.	22
1.4.3. Evaluación de impacto ambiental.....	22
1.4.4. Metodologías de impacto ambiental.....	24
1.5. Herramientas de mejora continua: Manufactura esbelta.....	28
1.5.1. Descripción de herramientas de manufactura esbelta.....	29
1.5.2. Mapeo de flujo de valor	30
1.6. Industria Avícola en México	31
1.6.1. Granjas de producción avícola.	33
1.6.2. Etapas de producción.	35
1.6.3. Requerimiento energético.	38
1.6.4. Legislación para granjas avícolas en materia de producción, y uso de insumos como energía y agua.	39
1.6.5. Impacto ambiental en actividades avícolas.....	40

1.7.	Antecedentes.....	42
1.7.1.	Estudio del proceso productivo de la industria avícola.	42
1.7.2.	Consumo energético en la producción de huevo.....	44
1.7.3.	Emisiones de GEI en la producción de huevo.....	44
1.7.4.	Análisis de Ciclo de vida en la producción de huevo.	45
1.7.5.	Herramientas de manufactura esbelta en procesos industriales	46
1.8.	Justificación.....	48
1.9.	Hipótesis.....	48
1.10.	Objetivo general.....	48
1.10.1.	Objetivos específicos	49
1.11.	Plan general de trabajo.	49
Capítulo 2.	Análisis de Ciclo de Vida.....	50
2.1	Desarrollo del análisis de ciclo de vida.....	50
2.2	Definición de objetivo y alcance	52
2.2.1.	Objetivo del ACV.....	52
2.2.2.	Alcance.....	52
2.3.	Etapa del análisis del inventario de ciclo de vida.....	59
2.3.1.	Recolección y cálculo de datos.....	60
2.4.	Etapa de evaluación de impacto de ciclo de vida.....	64
2.4.1.	Clasificación del impacto ambiental de la producción de huevo para plato. .	64
2.4.2.	Caracterización del impacto ambiental de las fases de producción de huevo para plato.	65
2.4.3.	Impacto ambiental por categoría	66
2.4.4.	Impactos ambientales relacionados con la salud humana.....	67
2.4.5.	Impactos ambientales sobre ecosistemas	73

2.4.6.	Impactos ambientales sobre los recursos naturales.	79
2.5.	Interpretación del impacto del ciclo de vida	86
2.5.1.	Identificación de aspectos significativos sobre el impacto ambiental en el ciclo de vida de la gallina ponedora.....	87
2.5.2.	Evaluación ambiental para la etapa de empacado de huevo para plato.	89
2.5.3.	Evaluación ambiental para el escenario de excretas y mortalidad de aves....	90
2.5.4.	Análisis de influencia.....	91
2.5.5.	Análisis de incertidumbre	92
2.5.6.	Incetidumbre con respecto al método de EICV	94
2.5.7.	Conclusiones del análisis de ciclo de vida	97
2.5.8.	Limitaciones del análisis de ciclo de vida.....	97
Capítulo 3	98
Mapa de flujo de valor	98
3.1.	Justificación de la mejora continua en la producción de huevo	98
3.2.	Desarrollo del mapeo de flujo de valor.....	98
3.3.	Marco de referencia del VSM del estudio actual	99
3.3.1.	Análisis de mapeo de flujo de valor del estado actual del proceso	99
3.3.2.	Objetivo del VSM.....	99
3.3.3.	Seleccionar una familia de productos	99
3.3.4.	Mapa del estado actual del sistema-producto.....	99
3.3.5.	Mapeo de flujo de valor del uso energético del sistema-producto.....	100
3.3.6.	Cadena de valor del estado futuro del proceso.....	101
3.4.	Resultados del análisis del mapeo de flujo de valor	102
3.4.1.	Análisis del estado actual del sistema-producto.....	102
3.4.2.	Consumo energético para la producción de huevo para plato.....	104

3.4.3.	Diseño del escenario futuro del proceso energéticamente ecoeficiente	107
3.4.4.	Escenario futuro del sistema producto.....	111
3.4.5.	Evaluación de impacto ambiental del escenario actual contra la propuesta ecoeficiente.....	112
La propuesta ecoeficiente con enfoque energético presentó un ahorro promedio de 56.33% en impactos ambientales sobre el gasto eléctrico de la producción de huevo. Se registró un ahorro monetario de 13,505.64 MXN por cada ciclo productivo.....		
		113
Capítulo 4		115
Beneficio ambiental y social de la producción de huevo de plato en un escenario ecoeficiente.....		
		115
4.1.	Internalización de externalidades en materia ambiental	115
4.2.	Economía ambiental	117
4.3.	Métodos de valoración económica ambiental.....	117
4.3.1.	Valor económico total	118
4.3.2.	Análisis costo-efectividad.....	121
4.3.3.	Análisis de costo-beneficio.....	121
4.4.	Metodología del análisis de costo-efectividad	122
4.4.1.	Definición del escenario del problema.....	122
4.4.2	Objetivos del estudio de costo-efectividad.....	123
4.4.3.	Descripción del estudio de costo-efectividad	123
4.5.	Desarrollo del análisis costo-efectividad en la producción de huevo.....	124
4.5.1.	Inventario energético del sistema para la producción de huevo.....	124
4.5.2.	Base de datos de los equipos utilizados en la iluminación según el escenario	125
4.5.3.	Contribución ambiental de acuerdo a la categoría de impacto en gasto energético	126

4.5.4. Potencial de contribución del cambio climático en la producción de huevo	127
4.6. Conclusión.....	131
Bibliografía.....	133
Cronograma de actividades MCIA 2017-2019.....	146

Índice de tablas

Tabla 1. Principales gases de efecto invernadero por actividades antropogénicas.....	17
Tabla 2. Emisiones de GEI y CN en México del año 2013 en base al sector en unidades de Mt de CO ₂ eq.	19
Tabla 3. Tipos de impacto ambiental según su origen y atributos.....	21
Tabla 4. Ventajas y limitaciones de metodologías para impacto ambiental más utilizadas.	27
Tabla 5. Diferencias entre VSM y mapeo de procesos.	31
Tabla 6. Ventajas y desventajas de la herramienta de mejora VSM.....	31
Tabla 7. Volumen de producción de huevo para plato en toneladas (t).....	32
Tabla 8. Sistemas para las unidades productoras de huevo para plato.	35
Tabla 9. Consumo de piensos para aves de postura.....	37
Tabla 10. Comparación de consumo energéticos anuales de los sistemas de producción de pollo para cría de acuerdo el peso.....	39
Tabla 11. Normativas para la regulación directa o indirecta de procesos avícolas.	40
Tabla 12. Contenidos de nutrientes en la gallinaza procedente del tipo de manejo de aves.	41
Tabla 13. Comparación del consumo energético en la producción 1 kg de huevo para plato de diversos estudios a nivel global.	44
Tabla 14. Comparación en la emisión de GEI en la producción 1 kg de huevo para plato de diversos estudios a nivel global.	45
Tabla 15. Fases para llevar a cabo la evaluación de impacto ambiental del ACV (CEGESTI, 2001; Sostenible, 2001).....	51
Tabla 16. Tipos y fuentes de datos (Fuente: propia).....	57
Tabla 17. Matriz de Pedigree para indicadores de calidad (Tomado y editado de: SimaPro 8.5).	58

Tabla 18. Inventario de ciclo de vida para la etapa de cría de pollitas.	60
Tabla 19. Inventario de ciclo de vida para la etapa de desarrollo de aves.	61
Tabla 20. Inventario de ciclo de vida para la etapa de postura de huevo.....	61
Tabla 21. Inventario de ciclo de vida para la etapa de empacado de huevo.	62
Tabla 22. Inventario de ciclo de vida del escenario de fin de vida para excreta.	63
Tabla 23. Inventario de ciclo de vida para el escenario de mortalidad.....	63
Tabla 24. Clasificación del impacto ambiental de la producción de huevo para plato.....	65
Tabla 25. Potencial de contribución de cambio climático de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.....	67
Tabla 26. Potencial de contribución de la capa de ozono de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.....	68
Tabla 27. Potencial de contribución de la toxicidad humana de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.	69
Tabla 28. Potencial de contribución de la formación de oxidantes fotoquímicos de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.	70
Tabla 29. Potencial de contribución de la formación de material particulado de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.	71
Tabla 30. Potencial de contribución de radiación ionizante de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.....	72
Tabla 31. Potencial de contribución de acidificación terrestre de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.	73
Tabla 32. Potencial de contribución de eutrofización marina de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.	74
Tabla 33. Potencial de contribución de eutrofización de agua fresca de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.	75
Tabla 34. Potencial de contribución de ecotoxicidad terrestre de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.	76
Tabla 35. Potencial de contribución de ecotoxicidad de agua fresca de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.	77
Tabla 36. Potencial de contribución de ecotoxicidad marina de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.	78

Tabla 37. Potencial de contribución de cambio de uso de suelo por agricultura de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.	79
Tabla 38. Potencial de contribución de cambio de uso de suelo por urbanización de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.	80
Tabla 39. Potencial de contribución de cambio de uso de suelo natural de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.	81
Tabla 40. Potencial de contribución de agotamiento de agua de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.	82
Tabla 41. Potencial de contribución de agotamiento de recursos minerales de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.	83
Tabla 42. Potencial de contribución de agotamiento de recursos fósiles de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.	84
Tabla 43. Impactos del ciclo de vida de la producción de huevo para plato de las mayores variables de contribución (Fuente: propia).....	87
Tabla 44. Impacto ambiental para la etapa de empaclado de huevo.....	89
Tabla 45. Impacto ambiental para los escenarios de excretas y mortalidad de aves.	90
Tabla 46. Análisis de influencia de la producción de huevo para plato.....	91
Tabla 47. Escenario hipotético para la evaluación de impacto del grado de influencia	92
Tabla 48. Comparación de los resultados de la incertidumbre de la EICV con respecto a los métodos aplicados.	95
Tabla 49. Consumo energético del proceso productivo de huevo de la granja de estudio (Fuente: Propio).	105
Tabla 50. Factor de reducción kHT para variaciones de altura y temperatura de instalación (SIEMENS, 2018).....	108
Tabla 51. Comparación del gasto energético del estado actual vs escenario ecoeficiente del proceso productivo de huevo de la Granja Laguna Colorada (Fuente: propia).....	111
Tabla 52. Comparación del impacto ambiental sobre el consumo energético del estado actual vs estado futuro del proceso para producción de huevo (Fuente: propia).	113
Tabla 53. Inventario del consumo energético para la producción de huevo en ambos escenarios.	124
Tabla 54. Comparativa característica del equipo utilizado en la iluminación por etapa	

productiva.....	125
Tabla 55. Beneficio ambiental obtenido comparando ambos escenarios de la producción de huevo para plato en actividades equivalentes a 1 kg CO ₂ . Fuente: (Palou, 2009; TFC, 2014).	129

Índice de figuras

Figura 1. Emisiones antropogénicas mundiales de GEI totales (GtCO ₂ eq/año) por sector económico. “AFOLU” corresponden a datos de agricultura, silvicultura y otros usos del suelo (WRI, 2013).....	18
Figura 2. Emisiones de CO ₂ de 2015 derivadas de la quema de combustibles fósiles por país (Olivier et al. 2016).....	18
Figura 3. Marco Institucional del Sistema Nacional de Cambio Climático (Gobierno de la República, 2013).....	20
Figura 4. Guía metodológica para estudios de impacto ambiental (Callisto, 2008).....	23
Figura 5. Ejemplos de método de diagrama o redes para causa-efecto para identificación de impactos (Arboleda, 2008).	24
Figura 6. Esquema general de una Análisis de Ciclo de Vida (Metadma, 2017).	26
Figura 7. Marco de Análisis de Ciclo de Vida (CEGESTI, 2001; Sostenible, 2001).....	27
Figura 8. Proceso del mapeo de flujo de valor (Pérez, 2006).	30
Figura 9. Producción de huevo por estado para el año 2016 (UNA, 2016).	32
Figura 10. Etapas de producción para la obtención de carne (izquierda) y huevo para plato (derecha) de aves de corral (Barroeta et al., 2011).	33
Figura 11. Esquema de producción industrial del sector avícola de puesta. Tomado y editado de (Barroeta et al., 2011).....	35
Figura 12. Etapas de la vida de una gallina ponedora (Vega, 2016).	38
Figura 13. Sistema delimitado a la producción de huevo para plato (Leinonen et al., 2012; Wiedemann S.G., 2011).	42
Figura 14. Diagrama de flujo del sistema de producción para huevo (da Silva J. & R. A. F. de Alvarenga, 2008).....	43

Figura 15. Fases de la metodología del ACV (CEGESTI, 2001).....	50
Figura 16. Ubicación del sitio de estudio (Fuente: Google Maps).	53
Figura 17. Sistema-producto del estudio (Fuente: Propia).....	53
Figura 18. Entradas y salidas en la etapa de cría durante 6 semanas (Fuente: Propia).....	54
Figura 19. Entradas y salidas en la etapa de desarrollo durante 10 semanas.	54
Figura 20. Entradas y salidas en la etapa de postura de huevo para plato durante 60 semanas.	55
Figura 21. Materiales y proceso de empaquetado de huevo.....	55
Figura 22. Disposición final de residuos.....	56
Figura 23. Impacto ambiental en las fases de producción de huevo para plato (Fuente: propia).	65
Figura 24. Distribución del impacto ambiental en las etapas de producción de huevo para plato de mayor impacto.	66
Figura 25. Contribución de la producción de huevo para plato al cambio climático.	68
Figura 26. Contribución de la producción de huevo para plato al agotamiento de la capa de ozono.	69
Figura 27. Contribución de la producción de huevo para plato al agotamiento de la toxicidad humana.	70
Figura 28. Contribución de la producción de huevo para plato al agotamiento de la formación de oxidantes fotoquímicos.	71
Figura 29. Contribución de la producción de huevo para plato al agotamiento de la formación de material particulado.	72
Figura 30. Contribución de la producción de huevo para plato al agotamiento de radiación ionizante.	73
Figura 31. Contribución de impacto para la producción de huevo para plato en acidificación terrestre.....	74
Figura 32. Contribución de impacto para la producción de huevo para plato en eutrofización marina.....	75
Figura 33. Contribución de impacto para la producción de huevo para plato en eutrofización de agua fresca.	76
Figura 34. Contribución de impacto para la producción de huevo para plato en ecotoxicidad	

terrestre.....	77
Figura 35. Contribución de impacto para la producción de huevo para plato en ecotoxicidad de agua fresca.	78
Figura 36. Contribución de impacto para la producción de huevo para plato en ecotoxicidad marina.....	79
Figura 37. Contribución de impacto para la producción de huevo para plato en cambio de suelo por agricultura.....	80
Figura 38. Contribución de impacto para la producción de huevo para plato en cambio de suelo por urbanización.	81
Figura 39. Contribución de impacto para la producción de huevo para plato en cambio de suelo natural.....	82
Figura 40. Contribución de impacto para la producción de huevo para plato en agotamiento de agua.	83
Figura 41. Contribución de impacto para la producción de huevo para plato en agotamiento de recursos minerales.	84
Figura 42. Contribución de impacto para la producción de huevo para plato en agotamiento de recursos fósiles.	85
Figura 43. Análisis de incertidumbre con respecto al inventario de ciclo de vida de la producción de huevo para plato.	94
Figura 44. Análisis de incertidumbre con respecto al método de EICV de la producción de huevo para plato.....	96
Figura 45. Marco de referencia de las etapas del desarrollo del VSM del estudio actual (Fuente: propia).	99
Figura 46. Simbología utilizada en el mapeo de VSM de un sistema-producto (Lobato, 2012).	100
Figura 47. Distribución de equipos en la caseta de cría de la granja de estudio (Fuente: elaboración propia).	101
Figura 48. Mapa del Estado actual del proceso productivo de la producción de huevo (Fuente: propia). *Dato obtenido por el método ReCiPe Midpoint (H) V1.13 / World Recipe H del software SimaPro 8.5 para evaluación de impactos en ACV.....	103
Figura 49. Mapa del flujo energético de operaciones unitarias en la producción de huevo	

(Fuente: propia). *Precio obtenido de acuerdo a la tarifa gran demanda en media tensión horaria (GDMTH) de CFE para diciembre del 2018,
<https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRENegocio/Tarifas/GranDemandaMTH.aspx>..... 104

Figura 50. Demanda porcentual acumulada del gasto energético por operación unitaria en la producción de huevo (Fuente: Elaboración propia Minitab 18)..... 106

Figura 51. VSM del estado futuro del flujo energético de operaciones unitarias en la producción de huevo. *Precio obtenido de acuerdo a la tarifa gran demanda en media tensión horaria (GDMTH) de CFE para Diciembre del 2018,
<https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRENegocio/Tarifas/GranDemandaMTH.aspx>..... 112

Figura 52. Externalidad positiva en producción (Piera, 2015). 117

Figura 53. Composición del Valor Económico Total y los métodos de valoración económica asociados. Tomado y editado de: (Cristeche & Penna, 2008). 119

Figura 54. Esquema de los métodos de valoración económica de bienes y servicios ambientales. Tomado y editado de (Cristeche & Penna, 2008)..... 120

Figura 55. Beneficio ambiental del consumo de petróleo crudo de la propuesta ecoeficiente. 130

Figura 56. Beneficio interno en la iluminación del sistema de producción de huevo comparando el escenario actual vs la alternativa ecoeficiente (Fuete: propia). 131

Abstract

Poultry farming is the main industry transforming vegetable protein into animal protein, through the intensive egg-production and meat. Mexico is the number one consumer and fifth egg producer worldwide. However, the environmental impact of egg-production is poorly reported and so far, there are no official data to identify the environmental footprint. The aim of this research was to design a tailor-made eco-efficient approach to egg-production on a semi-technified farm. A door-to-door life cycle assessment (LCA) and value stream mapping (VSM) methodologies were integrated, first conducting an environmental impact assessment, followed by eco-efficient design for continuous improvement. Within the limits established in the environmental impact assessment of the process, it was demonstrated that the egg posture stage concentrated 79% of the environmental impact of the product. In addition, it was identified that energy and food expenditure were the inputs that had the greatest contribution of the 18 environmental impact categories (SimaPro V8.5, ReCiPe Midpoint method). The climate change category was determined as a hotspot in the egg production, emitting 5.58 kg CO₂ eq/kg egg produced. The use of the VSM, together with the results obtained from the LCA, and eco-efficient proposal with energy focus was designed, according to the consumption/power ratio of electrical equipment. This would result in a 49.5% reduction of total energy consumption, as well as 56.3% saving in environmental impacts, approximately. Likewise, through environmental economic evaluation systems, they would allow a better benefit of sustainable production, through the internalization of externalities. The integral framework between LCA and VSM guarantees sustainable productivity and provides scientific value intending to ensure sustainable practices.

keywords: Life cycle assessment, value stream mapping, egg production, lean manufacturing, eco-efficiency

Resumen

La avicultura es la principal industria transformadora de proteína vegetal en proteína animal a través de la producción intensiva de huevos y carne. México es el primero consumidor y quinto productor mundial de huevo. Sin embargo, el impacto ambiental de la producción de huevo es escasamente reportado y, hasta ahora, no existen datos oficiales que permitan identificar su huella ambiental. El objetivo de esta investigación fue diseñar un proceso eco-eficiente a medida de la producción de huevo para plato en una granja semi-tecnificada. Se integraron las metodologías de análisis de ciclo de vida (LCA) y mapeo de flujo de valor (VSM), donde primeramente se llevó a cabo una evaluación de impacto ambiental del sistema-producto, para luego aplicar manufactura esbelta que permitiera diseñar una mejora continua al proceso. Dentro de los límites establecidos en la evaluación de impacto, se demostró que la fase de postura de huevo concentraba el 79% de los impactos ambientales. Además, se identificó que el gasto de energía y alimentos fueron los insumos que tuvieron la mayor contribución de las 18 categorías de impacto ambiental (SimaPro V8.5, método ReCiPe Midpoint). La categoría de cambio climático se determinó como un “hotspot” en la producción de huevo para plato, emitiendo 5.58 kg CO₂ eq/kg de huevo producido. La aplicación del VSM junto con los resultados obtenidos de ACV, permitieron diseñar una propuesta eco-eficiente con enfoque energético en relación al consumo/potencia de los equipos eléctricos del proceso. Esto resultaría una reducción del 49.5% del consumo total energético de la granja, así como un ahorro del 56.3% en impactos ambientales, aproximadamente. Así mismo, mediante sistemas de evaluación económica ambiental, se obtendría un mejor beneficio en la producción sustentable mediante la internalización de externalidades. La integración entre ACV y VSM garantiza una productividad sustentable y aporta valor científico con el fin de asegurar prácticas amigables con el ambiente.

Palabras clave: Análisis de ciclo de vida, mapeo de flujo de valor, huevo para plato, eco-eficiencia, mejora continua.

Capítulo I.

Marco Teórico

1.1. Introducción.

México se registró como el 13° lugar a nivel mundial para la contribución de emisiones de CO₂ en el 2015 con 470 Mt, equivalente al 1.29 % del total de emisiones de CO₂ a nivel global (Olivier, Janssens-Maenhout, Muntean, & Peters, 2016). En el año 2013 el sector avícola representó el 63.5 % de las actividades agropecuarias del país (SAGARPA & SENASICA, 2016), de este porcentaje se estimó que la producción de huevo para plato tuvo una participación del 28.8 %, con una tasa de crecimiento anual de 1.49 % (Alonso & Rodríguez, 2017; UNA, 2016).

El país cuenta con el primer puesto a nivel mundial como consumidor de huevo para plato, con una estimación de 22.1 kg anual per cápita para el 2016 (SAGARPA, 2016) y un aumento a 23 kg en el consumo nacional en el 2018 (UNA, 2019). Para que la industria avícola mantenga un óptimo nivel de producción se requiere de insumos como la energía (electricidad/combustible) para la iluminación, calefacción, etc., que brindan confort a las gallinas ponedoras, sin embargo, su gasto tiene un impacto relacionado con las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Arroyo, 2014; Oviedo-Rondón, 2009). Por eso es importante cuantificar las materias primas de las granjas avícolas en las etapas de producción de huevo para plato, y así determinar e interpretar los impactos ambientales generados en este sector.

A pesar de que el sector avícola está entre los de mayor demanda alimenticia en la nación, existen pocos reportes acerca de las emisiones generadas por el uso de energía y recursos para cada etapa del proceso de producción de huevo, así como una deficiencia en técnicas que permitan identificar oportunidades de mejora y desperdicio en el sistema. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es identificar los impactos ambientales y su contribución de emisiones de GEI mediante un análisis de ciclo de vida (ACV), además de evaluar actividades que brinden valor agregado o pérdida en la producción mediante un mapeo de cadena de valor, que permita diseñar un escenario ecoeficiente del sistema, derivado del gasto de insumos de la producción de huevo de la industria avícola nacional.

1.2. Cambio climático.

1.2.1. Definición, evidencia y consecuencias.

El cambio climático se define como toda alteración en la temperatura promedio de superficies marinas y terrestres que acontece en un lapso de tiempo determinado, derivado de las variaciones naturales o por actividades antropogénicas, siendo el calentamiento global una exposición incuestionable. Los GEI como el dióxido de carbono (CO_2), carbono negro (CN), óxido nitroso (N_2O), metano (CH_4), ozono (O_3) y vapor de agua, están formados por moléculas polares que les permite absorber la radiación infrarroja hasta alcanzar un equilibrio térmico en la faz del planeta, a esta consecuencia se le conoce como efecto invernadero, de no existir esta propiedad el planeta sería 33°C más frío, imposibilitando la vida como la conocemos (Ruiz-Suárez & Núñez, 2004). En la Tabla 1 se muestran los principales gases de efecto invernadero. Las actividades humanas como la generación de energía a través de recursos fósiles (petróleo, carbón y gas natural), el cambio de uso de suelo para la producción de alimento, entre otros bienes y servicios que disponemos cada día acumulan una alta concentración de GEI alterando el flujo natural de energía, en especial el CO_2 por su característica de permanecer en el ambiente alrededor de un siglo hasta ser absorbido por sumideros de carbono, como océanos y ecosistemas terrestres. (Reay, Sabine, Smith, & Hymus, 2007; Semarnat, 2009).

Algunas manifestaciones derivadas de actividades antropogénicas son el aumento excesivo de la temperatura, disminución de recursos hídricos, aumento en la frecuencia de fenómenos climáticos, pérdida de biodiversidad, entre otros. Desde el siglo pasado la temperatura mundial promedio ha aumentado 0.74°C y la tasa anual de aumento del nivel del mar ha sido de 3.2 milímetros, se cree que un incremento de 1.5°C conduciría al derretimiento irreversible de casquetes de hielo y los 2°C supondría un riesgo catastrófico (Reay et al., 2007). En América Latina son más frecuentes los fenómenos climáticos como: fuertes lluvias, sequías, olas de calor, incendios, etc. Esto porque agua más caliente se traduce a mayor energía para ciclones, y a mayor temperatura hay un incremento en la evaporación por lo tanto la precipitación es más intensa (Rodríguez Becerra & Mance, 2009; Semarnat, 2009).

Tabla 1. Principales gases de efecto invernadero por actividades antropogénicas.

Gas	Principal actividad antropogénica	Potencial de calentamiento PCG**
Dióxido de carbono (CO ₂)	Combustibles fósiles, producción cemento, cambios de uso de suelo	1
Metano (CH ₄)	Combustibles fósiles, vertederos, ganado	28
Óxido nitroso (N ₂ O)	Fertilizantes, procesos de combustión industrial	265
HFC 23 (CHF ₃)	Electrónica, refrigerantes	12,400
HFC 134 a (CF ₃ CH ₂ F)	Refrigerantes	1,300
Tetrafluormetano (CF ₄)	Producción de aluminio	6,630
Hexafluoretano (C ₂ F ₆)	Producción de aluminio	11,100
Hexafluoruro de azufre (SF ₆)	Fluidos dieléctricos	23,500

** Calculado para un horizonte temporal de 100 años.

Fuete: (GreenHouse Gas Protocol, 2015).

1.2.2. Emisiones de gases de efecto invernadero

1.2.2.1. Emisiones mundiales

Ya sea la quema de combustibles fósiles para la generación de energía o los procesos industriales, la suma de emisión de CO₂ de ambas acciones han atribuido alrededor del 78% en el aumento de concentración mundial de los GEI entre los años de 1970-2010. Se registró un incremento de mil millones de *t* ó 2.2% de CO₂ equivalente (eq) anuales del 2000 al 2010, llegando a un total de 49 mil millones de *t* (Gt) de CO₂ eq en el último año, de los cuales el 76% corresponde a CO₂, un 16% para CH₄, 6.2% del N₂O y el 2% de gases fluorados. En la Figura 1 se muestran las emisiones mundiales de GEI por sector económico para el 2010 (Edenhofer et al., 2014; WMO., 2016).

De acuerdo con el duodécimo boletín sobre GEI en la atmosfera de la Organización Meteorológica Mundial (WMO, por sus siglas en inglés), las concentraciones promedio de CO₂, CH₄ y N₂O en el 2015 alcanzaron respectivamente 400 partes por millón (ppm), 1845 partes por billón (ppb) y 328 ppb. Esto se representa como un aumento del 144%, 256% y 121% para cada caso en relación a los datos preindustriales al año 1750 (WMO., 2016).

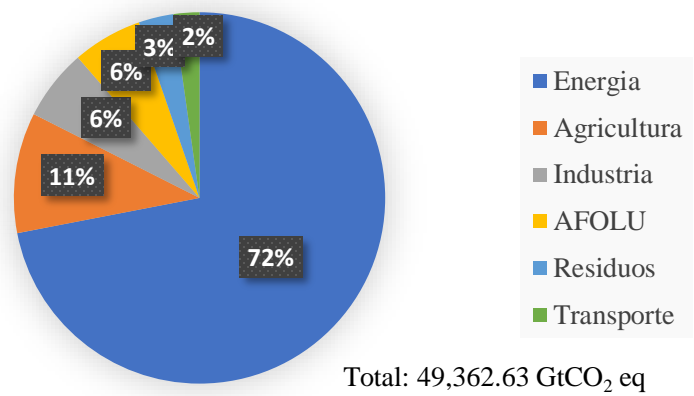


Figura 1. Emisiones antropogénicas mundiales de GEI totales (GtCO₂eq/año) por sector económico. “AFOLU” corresponden a datos de agricultura, silvicultura y otros usos del suelo (WRI, 2013).

1.2.2.2. Emisiones en México

En el año 2015 México contribuyó con el 1.29% de las emisiones globales de CO₂ por quema de combustibles fósiles, colocándolo como el país número 13 con el mayor volumen de emisión de este gas, como se muestra en la Figura 2 (Olivier et al., 2016). De acuerdo con el inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 2013 (INEGEI), las emisiones de GEI en la República Mexicana ascendieron 665 Mt de CO₂ eq lo que concierne el 26% al sector del transporte, el 19% para la generación de energía y el 17% a la industria. Por otra parte, el volumen de CN alcanzó cerca de 125 mil t emitidas, principalmente por el sector del transporte e industrial, aportando respectivamente el 38% y 28% (Gob.mx, 2015; SEMARNAT & INECC, 2015). En la Tabla 2 se muestran las emisiones en México según el sector económico.

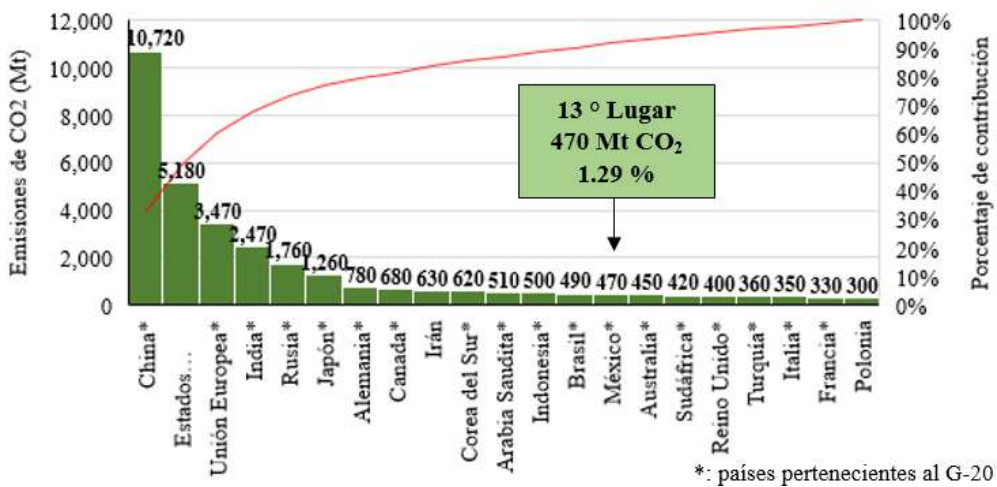


Figura 2. Emisiones de CO₂ de 2015 derivadas de la quema de combustibles fósiles por país (Olivier et al. 2016).

Tabla 2. Emisiones de GEI y CN en México del año 2013 en base al sector en unidades de Mt de CO₂ eq.

Sectores	Total, GEI	Participación Sectorial (%)	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	SF ₆	Total, CN
Fuentes móviles	174.156	26.6	169.8	0.2	1.3	2.6	-	47.3
Generación eléctrica	126.607	19	125.9	0.1	0.5	-	-	8.4
Residencial y comercial	25.639	3.9	23	2.2	0.3	-	-	19.0
Petróleo y gas	80.455	12.1	49.5	30.9	-	-	-	2.1
Industria	114.949	17.3	97.8	9.9	0.5	6.6	0.1	35.4
Agropecuario	80.169	12	0.3	54.6	25.1	-	-	8.8
Residuos*	30.902	4.6	1.6	27.3	1.8	-	-	0.2
USCUSS**	32.424	4.9	31.4	0.6	0.3	-	-	3.6
Emisiones totales	665.301	100	449.7	126.1	30	9.1	0.1	125.1
Participación por gas (%)	100		75.1	19	4.5	1.37	0.03	100

Fuente: (Gob.mx, 2015; SEMARNAT & INECC, 2015).

USCUSS: uso de uso, cambio de uso de suelo y silvicultura.

* Incluye residuos sólidos urbanos, residuos peligrosos y tratamiento/eliminación de aguas residuales.

** Incluye las absorciones de tierras convertidas a tierras forestales.

1.3. ¿Qué hace el mundo y México para enfrentar el cambio climático?

Hasta hace unos años la humanidad empezó a tomar medidas concretas para atender el problema. En 1979 en la ciudad de Ginebra, Suiza, se llevó a cabo la primera Conferencia Mundial sobre el Clima patrocinado por la WHO, considerando al cambio climático como una amenaza real a nivel global, exhortando a los gobiernos prever y evitar posibles cambios por actividades antropogénicas. En 1988 a través de la WHO y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente se creó el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), con la encomienda de analizar la información disponible y dar opiniones sobre la ocurrencia del cambio climático en el mundo, en el 2014 se publicó el quinto reporte de evaluación con respecto de América Latina. En 1992 se adoptó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. En 1997 se acoge el Protocolo de Kioto intentando limitar las emisiones de GEI en países industrializados. Europa presentó el paquete energético 20/20/20/10, que prevé la reducción del 20% de emisiones de CO₂ con respecto de 1990, 20% ahorro y eficiencia energética, 20% energías renovables y 10% de biocombustibles (Edenhofer et al., 2014).

El gobierno mexicano para enfrentar esta problemática ha llevado a cabo diversos planes mediante un sistema nacional de cambio climático (Figura 3), desde la aprobación de la Ley General de Cambio Climático (LGCC) que entró en vigor en el 2012, así como la implementación de instrumentos de política pública como la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC), el Consejo de Cambio Climático (C3) y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) en 2013. Entre los mecanismos de acción, avances normativos y herramientas de información de la LGCC se tienen (Gob.mx, 2015; Gobierno de la República, 2013; SEMARNAT & INECC, 2015):

- Se publicó la Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-10.
- Se elaboró y puso en marcha el Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018.
- Elaboración, publicación y actualización de programas estatales y municipales de cambio climático.
- Se elaboró el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2014-2018 y el Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables 2014-2018.
- Están en vigor 15 normas oficiales mexicanas que contribuyen a la reducción de emisiones.
- Se elaboró el Inventario Nacional de Emisiones de GEI al 2013.
- Se elaboró el Inventario Nacional de Energías renovables.



Figura 3. Marco Institucional del Sistema Nacional de Cambio Climático (Gobierno de la República, 2013).

1.4. Impacto Ambiental.

1.4.1. Definición y tipos de impacto ambiental.

El impacto ambiental puede definirse como el cambio derivado de una condición o característica del ambiente por efecto de una actividad, proyecto u obra que puede ser benéfico o perjudicial, además de producirse en cualquiera etapa del ciclo de vida del proceso en diferentes niveles de importancia (Arboleda, 2008). Otra definición de acuerdo con (Sánchez, 1999) es la “alteración de la calidad ambiental que resulta de la modificación de los procesos naturales o sociales provocada por acción antropogénica” (Arq & Gabriela, 2011).

Los tipos de impacto ambiental se diferencian de acuerdo a su origen, asimismo, existen clasificaciones de acuerdo a sus atributos. En la Tabla 3 se muestra información detallada al respecto.

Tabla 3. Tipos de impacto ambiental según su origen y atributos.

Impacto ambiental	
Según su origen	Según sus atributos
<ul style="list-style-type: none"> • Aprovechamiento de recursos renovables como el forestal o la pesca, o no renovables como el petróleo y carbón. 	<ul style="list-style-type: none"> • Positivo o Negativo <p>En términos del efecto resultante en el ambiente.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación 	<ul style="list-style-type: none"> • Directo o Indirecto <p>Si es causado por acción del proyecto o es resultado del efecto producido por la acción.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Ocupación territorial 	<ul style="list-style-type: none"> • Sinérgico <p>Se produce cuando el efecto conjunto de los impactos supone una incidencia mayor que la suma de los impactos individuales.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Residual <p>El que persiste después de la aplicación de medidas de mitigación.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Temporal o Permanente <p>Si es por un periodo determinado o definitivo.</p>

-
- Reversible o Irreversible Dependende de la posibilidad de regresar a las condiciones originales.
 - Continuo o Periódico Dependende del periodo que se manifieste.
-

Fuente: (SEMARNAT, 2013b).

1.4.2. Medición del impacto ambiental.

Previo a efectuar cualquier proyecto o actividad que genere desequilibrio ecológico, esta debe autorizarse mediante la estimación del grado de alteración que pueden causar las acciones en referencia. Se evalúan los tipos de contaminantes posibles emitidos, así como las medidas que se adoptarían para reducir o evitar los daños causados justificando su aplicación (Callisto, 2008; SEMARNAT, 2000).

Hay tres tipos de regulaciones utilizadas en la medición del impacto ambiental, siendo estas (SEMARNAT, 2013a):

- Medidas de prevención. – Acciones efectuadas por el promovente para evitar efectos previsibles de deterioro ambiental.
- Medidas de mitigación. – Se aplican herramientas ecoeficientes de mejora continua a un proceso productivo en cualquiera de sus etapas, obteniendo una disminución en el consumo de insumos e impactos ambientales sin afectar el rendimiento de operación (Forumambiental, 1999).
- Medidas de compensación. – Acciones que pretenden recuperar los servicios ambientales dañados por impactos residuales o garantizar su continuidad, cuando el foco de infección está ubicado en un espacio geográfico distinto al afectado por cierta actividad.

1.4.3. Evaluación de impacto ambiental.

La evaluación de impacto ambiental (EIA) es un proceso dirigido a identificar, evaluar, prever y mitigar cada una de las etapas de cualquier actividad antropogénica, que permita su desarrollo perjudicando lo menos posible o nada al ambiente (Arboleda, 2008). Se han desarrollado numerosas metodologías para llevar a cabo una EIA, sin embargo, no todos tienen la aplicabilidad uniforme a nivel global y al seleccionar el mejor método se consideran factores como la legislación del país, su marco de procedimientos, datos de referencia,

estándares ambientales, especificación de términos y programas de administración ambiental. Entre las actividades que se deben llevar a cabo para planificar un estudio de EIA se tienen: la preparación del terreno, insumos y materias primas utilizados, tipos de residuo y emisiones, mano de obra aplicada, etcétera (Arq & Gabriela, 2011; Damian & Damian, 2016). En la Figura 4 se muestra un esquema general para un estudio de EIA.

Dentro las primeras clasificaciones relacionadas a las metodologías de EIA se tienen cinco grupos: métodos “ad hoc”, técnicas gráficas mediante mapas y superposiciones, listas de chequeo, matrices y diagramas (Damian & Damian, 2016).

Algunas ventajas y aspectos deseables en los métodos de aplicación de EIA se tiene (Arboleda, 2008; Damian & Damian, 2016):

- Son procesos de aviso temprano de las implicaciones de un proyecto.
- Deben adecuarse a las tareas a realizar para la identificación de impactos.
- Ser económicos en requerimiento de datos, tiempos de aplicación, cantidad y tiempo de personal, equipo e instalaciones.
- Tiene carácter preventivo, se debe aplicar antes que inicie el desarrollo de las actividades del proyecto.
- Debe ponerse al servicio de los que toman las decisiones.

Los procedimientos de EIA no proporcionan respuestas completas a todas las preguntas sobre los impactos generados por una actividad, sin embargo, son auxiliares en soluciones de problemas prácticos para la planificación de proyectos y la toma de decisiones (Arq & Gabriela, 2011; Damian & Damian, 2016).

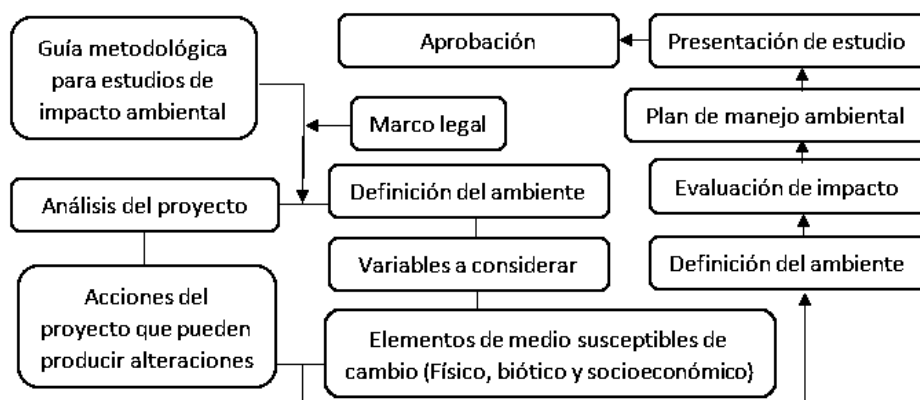


Figura 4. Guía metodológica para estudios de impacto ambiental (Callisto, 2008).

1.4.4. Metodologías de impacto ambiental.

Se han desarrollado varias metodologías con ventajas y limitaciones (Tabla 4) para evaluar el impacto ambiental en procesos productivos. Sin embargo, no proporcionan una respuesta completa sobre los impactos debido a que no existe una aplicabilidad uniforme a nivel mundial, por las diferencias en la legislación, datos de referencia, estándares ambientales, entre otros (TDR, 2009). Algunos de los métodos más utilizados se explican a continuación:

1.4.4.1. Diagramas o redes de interacción.

Útiles para constituir relaciones de causalidad a través de la acción propuesta y el ambiente afectado (Figura 5). Consisten en realizar una red de reacciones causa-efecto de acciones susceptibles a producir un impacto (Arboleda, 2008; Damian & Damian, 2016). Las variables ambientales se empalman y los impactos se ordenan por jerarquías según sus interacciones: primarios, secundarios (Mijangos-Ricardez & López Luna, 2013).

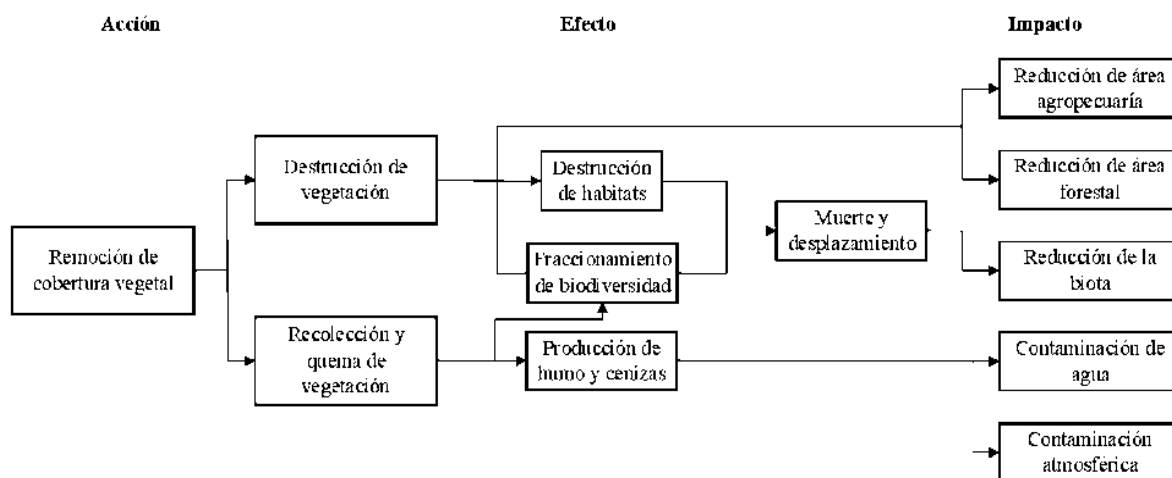


Figura 5. Ejemplos de método de diagrama o redes para causa-efecto para identificación de impactos (Arboleda, 2008).

1.4.4.2. Lista de chequeo.

Consiste en una lista organizada de variables ambientales afectadas por el impacto de la actividad antropogénica. Útil para identificar consecuencias relacionadas a la acción propuesta. Este tipo de listas contiene rubros como atmósfera, suelo, agua, flora, fauna y recursos: naturales, culturales y sociales (Damian & Damian, 2016; Mijangos-Ricardez & López Luna, 2013). Entre los tipos que existen, se tienen:

- Lista simple: contiene una lista de variables ambientales con potencial de impacto.
- Lista descriptiva: evalúan parámetros ambientales impactados, como medidas de mitigación, grupos afectados, etc.
- Cuestionarios: conjunto de preguntas sistemáticas respecto a una categoría de factores ambientales.

1.4.4.3. *Métodos Ad hoc.*

Es un procedimiento que aporta directrices de evaluación de impacto ambiental a través de la consulta sistemática de expertos (Damian & Damian, 2016). Entre sus estudios se tienen:

- La identificación de los impactos.
- Determinar las medidas correctivas.
- Asesorar en la implementación de procedimientos de seguimiento y control.

1.4.4.4. *Método de superposición de mapas.*

Se basa en el análisis de daño ambiental mediante la proyección espacial. Su principio es la superposición de capas para identificar impactos sobre un territorio o a nivel mundial. Permiten estudiar características de entorno físico, social y/o cultural alterado por una acción específica a través de fotografías aéreas, mapas topográficos, observación de terrenos, opinión de expertos o actores sociales. Es muy útil cuando las matrices no son posibles de aplicar (Arboleda, 2008; TDR, 2009).

1.4.4.5. *Método de Leopold.*

Metodología matricial que representa acciones del proyecto y los componentes del medio tomando en cuenta sus características. Se limita a una lista de 100 acciones con potencial de impacto ambiental en columnas y 88 condiciones ambientales en filas, dando una posibilidad de 8,800 interacciones, sin embargo, no todas se consideran en el estudio (Arboleda, 2008; Damian & Damian, 2016; TDR, 2009).

1.4.4.6. *Análisis de ciclo de vida*

Esta metodología a diferencia de otras técnicas de evaluación ambiental, permite integrar el gasto y salidas tanto de insumos como de sistemas de producción para valorar impactos ambientales en todo el ciclo de vida de un producto o servicio (Figura 6). Al ser estos impactos evaluados, se pueden adoptar estrategias de mejora ambiental debido a su enfoque

integral a través de modalidades de diseño, producción y consumo sustentable (Dufour, 2011; Rieznik & Henández, 2005). Los pasos a seguir en el ACV se muestran a continuación:

- Compilar un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema.
- Evaluar los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas.
- Interpretar los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio.

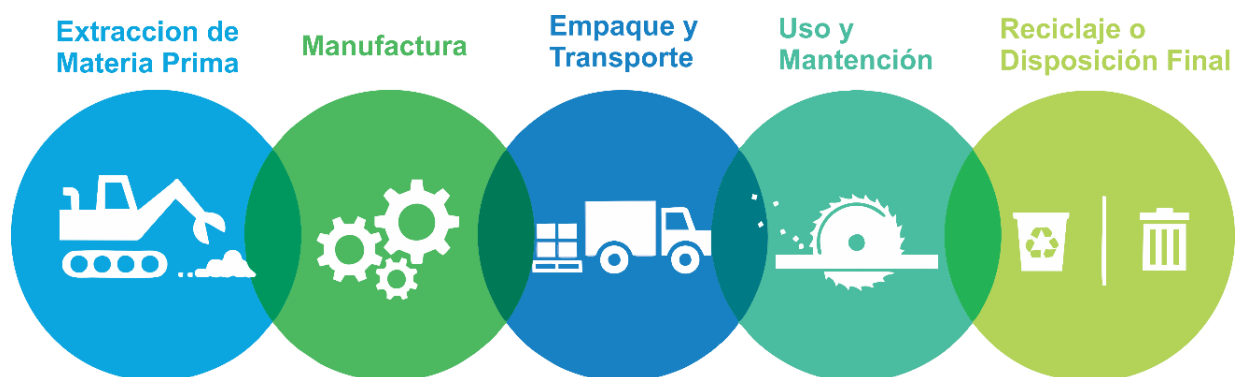


Figura 6. Esquema general de una Análisis de Ciclo de Vida (Metadma, 2017).

De acuerdo con la norma internacional ISO 14040:2006 (AENOR, 2006), esta metodología consta de cuatro fases, que son definición de objetivos y alcance, análisis de inventario, evaluación de impacto del ciclo de vida e interpretación (Figura 7), las cuales se describen a continuación (CEGESTI, 2001; Sostenible, 2001; Standard, 1997) :

- Definición de objetivos y alcance: se limita el propósito y método de incluir los impactos ambientales del ACV en el proceso.
- Análisis de inventario: recolección de datos y procedimiento de cálculos para cuantificar entradas y salidas de un sistema producto, muy común usar diagramas de flujo.
- Evaluación de impacto del ciclo de vida: cualifica la significatividad de los impactos ambientales obtenidos del análisis de los resultados del inventario, dicho de otro modo, trata de dilucidar impactos ambientales asociados al sistema estudiado. Los pasos a efectuar para cumplir esta fase son: selección y definición de categorías de impacto, clasificación, caracterización, normalización, agrupación, ponderación, evaluación y reporte.

- Interpretación: identifica, cuantifica, revisa y valora los datos arrojados derivado de los resultados de la fase de inventario y evaluación.

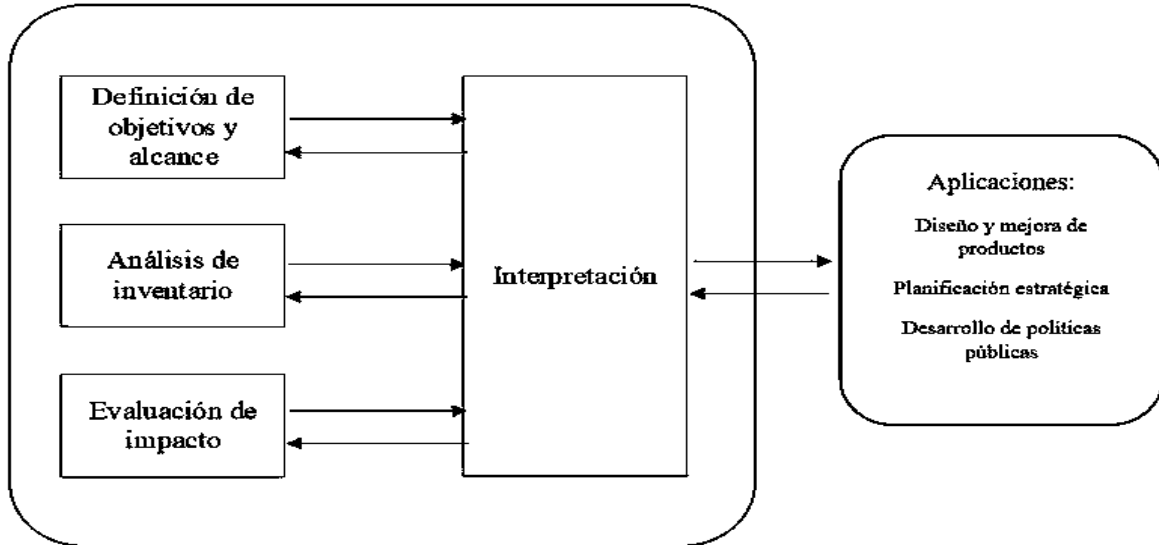


Figura 7. Marco de Análisis de Ciclo de Vida (CEGESTI, 2001; Sostenible, 2001).

Tabla 4. Ventajas y limitaciones de metodologías para impacto ambiental más utilizadas.

Metodología	Ventajas	Limitaciones
Listas de chequeo	<ul style="list-style-type: none"> • Estructura etapas iniciales de una EIA. • Apoya a la definición de los impactos de un proyecto. • Compara alternativas del proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> • No identifican impactos indirectos, ni riesgos asociados o impactos individuales. • No ofrecen indicaciones de la localización de impacto.
Ad hoc	<ul style="list-style-type: none"> • Rápido y fácil de llevar a la práctica por la adaptación a las necesidades del proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gran dependencia del grado de conocimiento y experiencia de participantes. • Los equipos de expertos deben ser formados de acuerdo al proyecto, siendo su principal desventaja.
De Leopold	<ul style="list-style-type: none"> • Estima subjetiva de los impactos por escala numérica. • Compara alternativas. • Determina interacciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto grado de subjetividad. • No considera impactos indirectos del proyecto.

Cartográficos	<ul style="list-style-type: none"> • Útil cuando existen variaciones espaciales de impactos. Son indicadores de salud y alteración socioeconómica. 	<ul style="list-style-type: none"> • No útiles cuando no existe la variación espacial.
Diagrama de flujo/redes	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil de construir y proponer la relación de casualidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Se limita a mostrar interacciones causa-efecto. • Es complejo utilizar al incrementar acciones e impactos involucrados. • No proporcionan criterios para decidir la importancia de los impactos.
Análisis de Ciclo de Vida	<ul style="list-style-type: none"> • identifica oportunidades de mejorar el desempeño ambiental y el diseño de productos y servicios. • Obtención de información ambiental para facilitar toma de decisiones. • Herramienta de marketing al implementar el etiquetado ambiental. • Herramienta integral. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta complejidad por las necesidades sistemáticas. • Poca disponibilidad de base de datos e inventarios del proceso estudiado. • Tiempo requerido para realizar el ACV. • Inexactitud, debido a la proximidad de los datos recopilados en las fases del proceso.

Fuente: (Arboleda, 2008; CEGESTI, 2001; Damian & Damian, 2016; Mijangos-Ricardez & López Luna, 2013; Sostenible, 2001; Standard, 1997; TDR, 2009).

1.5. Herramientas de mejora continua: Manufactura esbelta

La manufactura esbelta es un modelo de gestión que se focaliza en la identificación de mejoras en un sistema productivo mediante la eliminación de desperdicios en etapas que no otorguen un valor agregado (Diaz del Castillo, 2009). El uso de técnicas sistemáticas en una cadena de producción llega a presentar una reducción del 20 % al 50 % en áreas de operación como gestión de calidad, flujo interno de producción, mantenimiento y gestión de cadena de suministro (Hernández & Vizán, 2013).

De acuerdo con (Cabrera, 2015), los desperdicios comúnmente aceptados en los sistemas de producción son:

- Sobreproducción: producir más de la cantidad que realmente se necesita o más pronto de lo requerido.
- El esperar: tiempo muerto cuando dos variables independientes del proceso no están sincronizadas.

- Transporte: pérdidas por excesos en el transporte interno (malas ubicaciones del equipo y maquinaria del proceso).
- Proceso excesivo: mejoras invisibles y sin valor al cliente, no agrega nada al criterio de valor.
- Inventario: suministro que excede los requerimientos del proceso para producir un bien o servicio, generalmente se da por no haber realizado un análisis costo beneficio de stock ante alzas de precios.
- Defectos: proceso o productos terminados que no reúnen las condiciones óptimas de calidad.

1.5.1. Descripción de herramientas de manufactura esbelta

Las principales herramientas que se implementan en el sistema de una organización pueden actuar de forma independiente o conjunta, según la característica específica de cada caso. A continuación se describen algunas de estas herramientas (González, 2007; Hernández & Vizán, 2013; Prodintec, 2015):

1.5.1.1. Las 5's.

Las 5's hacen alusión a seiri (separar), seiton (ordenar/identificar), seiso (limpieza), seiketsu (estandarizar) y shitsuke (sistematizar/disciplina). Se basa en la mejora de las condiciones de trabajo de una organización mediante el orden, limpieza y organización.

1.5.1.2. Cambios rápidos (SMED).

Comúnmente conocida como Single Minute Exchange of Die (SMED, por sus siglas en inglés). Es utilizado para disminuir los tiempos de preparación de un sistema, entre estos, tiempos de elaboración, de espera entre procesos y de transporte. Al aplicar esta técnica se mejora la eficiencia y exactitud del sistema.

1.5.1.3. Estandarización.

Este método elimina la variación, desperdicio y desequilibrio de un proceso, lo que permite operaciones con mayor facilidad, rapidez y menor costo. Se elaboran instrucciones escritas o gráficas que muestren la mejor manera de hacer las cosas.

1.5.1.4. *Mantenimiento Total Productivo.*

El mantenimiento total productivo (TPM, por sus siglas en inglés) se enfoca en eliminar los tiempos muertos de la maquinaria como limpieza básica de equipo, mantenimiento o reparación independiente por operadores. Dentro de una organización esta herramienta corresponde al departamento de mantenimiento, porque son los responsables de documentar reparaciones y mejoras.

1.5.1.5. *Jidoka.*

Técnica centrada en la incorporación de sistemas y dispositivos que permiten a los equipos detectar que se está produciendo un error, evitando que cualquier pieza o producto defectuoso avance en un proceso productivo.

Otra de la herramienta utilizada en la manufactura esbelta es el mapeo de flujo de valor, la cual será aplicada en esta investigación y se explica a continuación.

1.5.2. Mapeo de flujo de valor

El mapeo de flujo de valor (VSM, por sus siglas en inglés), es una herramienta que permite visualizar y entender el flujo de información y materiales en un sistema productivo (Cabrera, 2015; Vinodh, Ben Ruben, & Asokan, 2016).

La función del VSM es mapear actividades con o sin valor añadido que se requieren para elaborar una familia de productos (o un solo producto), generando un mapa que hace un seguimiento del proceso de creación del producto desde su materia prima hasta su terminado (o entrega al cliente), lo que permite identificar oportunidades de mejora o minimización de desperdicios en actividades a través de una ventana de valor (Cabrera, 2015; Pérez, 2006; San & Ruíz, 2015). Las etapas para llevar a cabo esta metodología se presentan en la Figura 8.

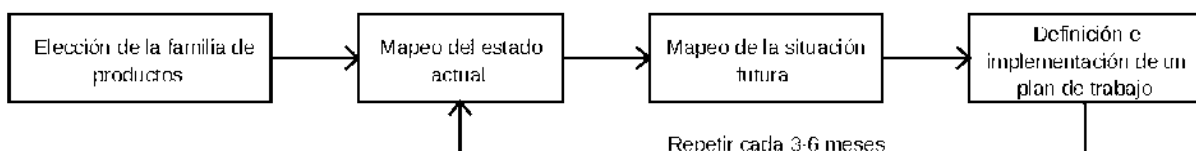


Figura 8. Proceso del mapeo de flujo de valor (Pérez, 2006).

A diferencia de otras herramientas como el mapeo de procesos, el VSM reconoce si el cliente es quien activa la fabricación, donde se puede reducir el tiempo de ciclo de trabajo, costos, o cualquier acción que no agregue valor (Cabrera, 2015). En la Tabla 5 se muestra las diferencias entre VSM y el mapeo de procesos. Sin embargo, el VSM también presenta ventajas y desventajas a la hora de utilizarse, las cuales se muestran en la Tabla 6.

Tabla 5. Diferencias entre VSM y mapeo de procesos.

Mapeo de cadena de valor (VSM)	Mapeo de procesos
Considera toda la cadena de valor del sistema	Se concentra en un solo proceso
Identifica actividades que no agregan valor al sistema	Identifica actividades que no agregan valor dentro del proceso
Las mejoras son significativas pero difíciles de lograr	Las mejoras van de pequeñas a grandes pero difíciles de implementar
Permite una planificación de estrategia a largo plazo	Permite una planificación de estrategia a corto plazo.

Fuente: (Cabrera, 2015).

Tabla 6. Ventajas y desventajas de la herramienta de mejora VSM.

Ventajas	Desventajas
Visualiza el nivel del proceso productivo (como se comportan), mostrando flujos.	Poco aplicable a empresas que fabrican bajos volúmenes y gran variedad de productos.
Identifica donde se generan los desperdicios.	Mucha de la simbología está diseñada para Toyota (inicios) y no sería aplicable a otras empresas.
Identifica detalles escondidos (ineficiencias).	En las observaciones muchos analistas toman en cuenta el desempeño de la gente, pero no toda se relaciona con la fabricación y desarrollo.
Proporciona un lenguaje común para hablar del proceso de manufactura.	Para un caso efectivo se debe considerar todo el trabajo en su totalidad, incluso cuando el trabajo no se está realizando.
Muestra una integración entre el flujo de material y flujo de información.	

Fuente:(Guevara, 2007; Strategos, 2007).

1.6. Industria Avícola en México

La tasa de crecimiento anual para la producción de huevo para plato del 2006 – 2015 en México fue de 1.49 %, con un crecimiento acumulado del 14.30 %, como se muestra en la Tabla 7 (UNA, 2016). De acuerdo con la Unión Nacional de Avicultores (UNA), en el 2015 la avicultura en el país representó el 63.5 % de la producción pecuaria, del cual el 28.8 % corresponde a la producción de huevo para plato. Para ese mismo año el aporte al Producto Interno Bruto fue de 37.25 % (Alonso & Rodríguez, 2017; SAGARPA & SENASICA, 2016).

De acuerdo con la Encuesta Nacional Agropecuaria del INEGI 2014 se cuantificaron 101,422,563 gallinas para producción promedio de huevo para plato diaria de 7,632.3 t. Entre los principales estados productores están: Jalisco, Sonora, Sinaloa, Yucatán y Puebla (INEGI, 2014). En el tercer trimestre del año 2016 SAGARPA reportó una producción de 2,001,159 t de huevo para plato, con un consumo per cápita de 22.1 kg anual, colocando a México como el quinto productor y primer consumidor mundial (SAGARPA, 2016). La Figura 9 muestra los porcentajes correspondientes de algunos estados productores para el presente año.

Tabla 7. Volumen de producción de huevo para plato en toneladas (t).

Año	Producción en t	Año	Producción en t
2006	2,307,525	2011	2,538,137
2007	2,278,477	2012	2,386,576
2008	2,306,744	2013	2,509,350
2009	2,383,864	2014	2,571,270
2010	2,475,000	2015	2,637,581

Fuente: (UNA, 2016).

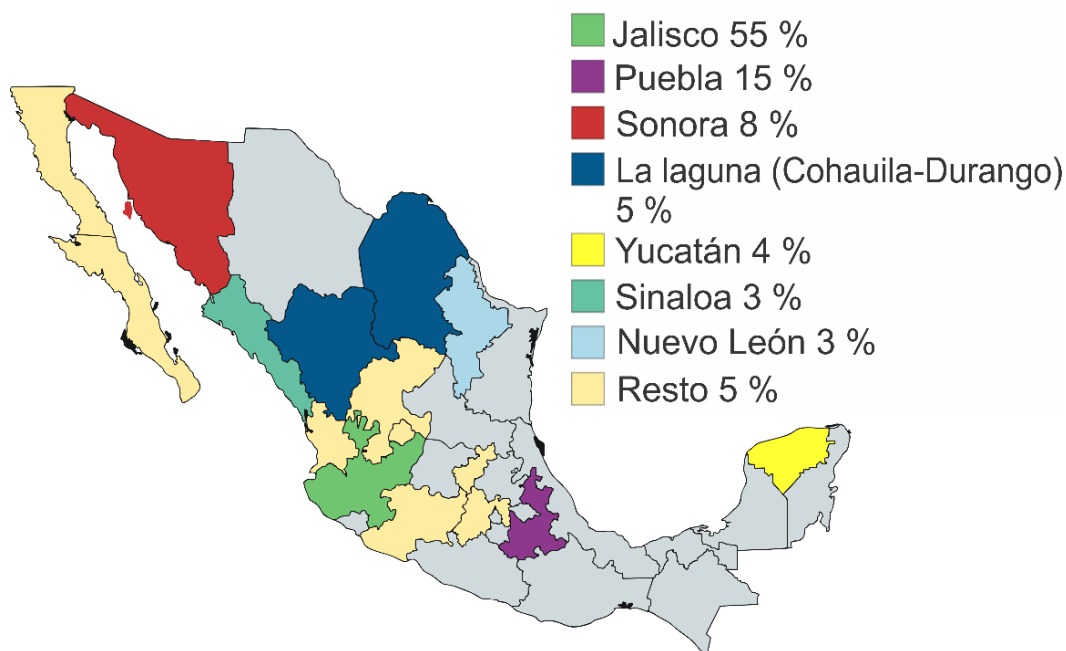


Figura 9. Producción de huevo por estado para el año 2016 (UNA, 2016).

1.6.1. Granjas de producción avícola.

La producción de huevo para plato se lleva a cabo en base a prácticas para la puesta eficiente y regular como es el caso para la carne, en la Figura 10 se muestran brevemente las fases para los procesos carne y huevo de ave de corral (Barroeta, Izquierdo, & Perez, 2011).

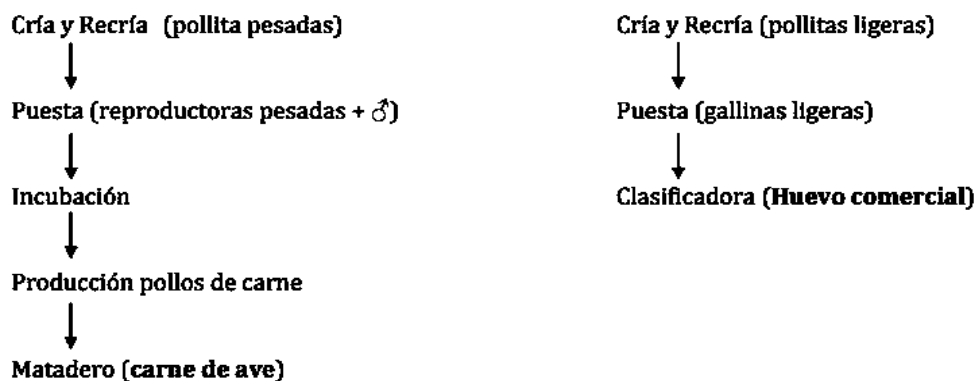


Figura 10. Etapas de producción para la obtención de carne (izquierda) y huevo para plato (derecha) de aves de corral (Barroeta et al., 2011).

Para la obtención de huevo para plato se pueden llevar a cabo cuatro tipos de alojamiento o modos de cría que se identifican con un código (Barroeta et al., 2011; INPROVO, 2015; INPROVO, ASEPRHU, INOVO, & IEH, 2007):

1.6.1.1. Sobre suelo.

Este sistema dispone de aves libres en las naves, se basa en el modelo originario de yacija o cama, utilizando generalmente materiales como viruta de madera, aserrín, cascarilla de arroz y paja (Agrinews, 2016). Entre las alternativas que se tienen actualmente son: sobre yacija, en suelo con aseladeros y mixto (yacija+aseladero), siendo este último el más utilizado (UPM, 2015).

1.6.1.2. En jaulas.

Son instalaciones en las que se alojan grupos reducidos de aves, identificado con el código 3, el objetivo es proporcionar comodidad y protección a las aves lo que permite un ambiente controlado para la producción, a través de un control sanitario y alimentación constante (Vega, 2016).

1.6.1.3. *Campera.*

Se le llama así al método donde las gallinas son criadas en corrales con acceso al aire libre alimentándose de pastos frescos, con la opción de también ser alojadas en naves.

1.6.1.4. *Ecológica.*

También conocida como orgánica, las instalaciones son semejantes a la producción campera con la diferencia que en los gallineros se tiene salida a espacios abiertos de vegetación, además sólo se dispone de alimento etiquetado como orgánico.

Los sistemas sobre suelo y jaulas son los más utilizados. Las unidades de producción o casetas pueden ser de ambiente natural o abierto, controlado o cerrado en varios grados (temperatura/luz) y mixto (Barroeta et al., 2011; SAGARPA & SENASICA, 2016), en la Tabla 8 se muestran algunas características de estos sistemas.

De acuerdo con el Manual de Buenas Prácticas pecuarias de Producción de Huevo para Plato (SAGARPA & SENASICA, 2016), algunas consideraciones para el diseño de casetas son:

- Ancho: de 9.9 a 12.2 m dependiendo del clima de la región.
- Alto: de 2.4 a 3 m en climas calurosos. Casetas con aseladeros requieren hasta 4.3 m.
- Largo: depende la producción límite, lo más común son 100 m.
- Material de construcción de nave: poliuretano, poliestireno extrusionado y fibra de vidrio.
- Material del muro: concreto, tabique con enjarre, o cualquier material sólido no poroso, no corrosible, de fácil lavado y desinfección.
- Material del piso: concreto, tierra apisonada. Debe ser liso y uniforme para permitir la remoción de gallinaza.
- Material del techo: lámina galvanizada, concreto, polímeros sólidos no porosos. Debe ser lavable e impermeable.

Tabla 8. Sistemas para las unidades productoras de huevo para plato.

Caseta	Característica
Natural	<ul style="list-style-type: none"> • Unidades con muros abiertos • Óptima ventilación natural • Disponen de cortinas o sombreados • Según la orientación se utilizan barreras de aire
Controlada	<ul style="list-style-type: none"> • Unidades cerradas • Automatización de equipos • Control de condiciones (humedad, temperatura y ventilación)
Mixta	<ul style="list-style-type: none"> • Combinación de ambos sistemas

Fuente: (SAGARPA & SENASICA, 2016).

1.6.2. Etapas de producción.

El proceso de producción de huevo para plato se compone de varias fases, entre estas: reproductores de estirpes ligeros/pesados y su incubación, cría y recría de pollitas, periodo de producción de huevo, clasificación y embalaje (Barroeta et al., 2011). Este estudio se limita a la cría y recría de pollitas y obtención de huevo para plato. En la Figura 11 se muestra un esquema del proceso de puesta en la avicultura.

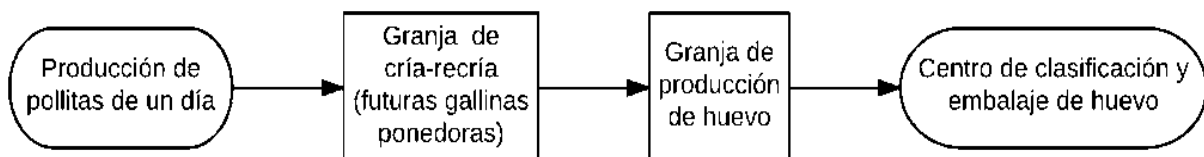


Figura 11. Esquema de producción industrial del sector avícola de puesta. Tomado y editado de (Barroeta et al., 2011).

1.6.2.1. Etapa de cría y recría de pollitas de puesta.

El objetivo de esta fase es el desarrollo de las futuras ponedoras comerciales de huevo para plato, los machos son desechados. Después de la incubación, las pollitas de uno o dos días de nacidas se trasladan a instalaciones de gestación, en cajas con dimensiones de 56 x 46 x 15 cm sin exceder las 100 pollitas en un periodo máximo de 16 h. Una vez alcanzada su madurez sexual (16–18 semanas), son enviadas a las naves de postura (Barroeta et al., 2011; SAGARPA & SENASICA, 2016).

Durante este proceso se distinguen tres periodos (Barroeta et al., 2011):

- Periodo de arranque, hasta la sexta semana.
- Periodo de cría, de la séptima a la 13^a semana.
- Periodo de recría, de la 13^a semana a la 18^a semana.

En el manejo de la unidad de producción de las pollitas en esta etapa, se deben considerar algunos puntos (Barroeta et al., 2011; SAGARPA & SENASICA, 2016):

- La cama debe ser nueva, de material absorbente, ligero, suave y de tamaño de partícula mediano.
- Alimento y agua deben estar disponibles en todo momento.
- Mantener una temperatura entre 30 a 33 °C y una humedad del 60 a 70 %.
- Alojarse 100 pollitas por m² en suelo, o en jaula a una densidad de 200 cm² por ave.
- Utilizar un bebedero por cada 80 a 100 pollitas en suelo, o en jaula a una densidad de un bebedero por 25 pollitas.

1.6.2.2. Producción de huevo para plato.

Una vez las aves colocadas en las naves de postura se les debe de proporcionar alimento (Tabla 9) de proveedores certificados acuerdo a la norma NOM-061-ZOO-1999, así como servicios para un óptimo nivel de producción y reducción de riesgos de contaminación de parvadas y huevo para plato (Barroeta et al., 2011; SAGARPA & SENASICA, 2016). Esta etapa tiene un ciclo de 12 a 15 meses o 20 a 80 semanas, en las que se puede obtener una producción de 335 a 345 huevos y una masa de 20.5 kg en promedio por ave (SAGARPA & SENASICA, 2016).

Algunos factores a considerar en el manejo de la producción de huevo para plato son (Barroeta et al., 2011; SAGARPA & SENASICA, 2016; Vega, 2016):

- Ajustar la fórmula nutricional en relación a la edad, peso y rendimiento de producción.
- Proveer agua potable y fresca siempre.
- Contar con los equipos necesarios para la cantidad de aves alojadas.
- Eliminar mortalidad todos los días.
- Proveer 17 h de luz (natural + artificial).
- Control de consumo.

- Control de ambiente.
- Control del número y peso de huevos producidos.
- Aspecto, salud y estado del lote.
- Homogeneidad del lote.

Tabla 9. Consumo de piensos para aves de postura.

Etapa	Desglose	Ración diaria (g)
Cría y recria	Iniciador (2 a 4 semanas)	55
	Crecimiento (4 a 16 semanas)	80
Postura	Gestación (16 a 18 semanas)	90
	Postura (19 a 80 semanas)	110

Fuente: (Barroeta et al., 2011; Vega, 2016).

La recolección y selección del huevo para plato se puede llevar a cabo de dos formas, manual o automática. La recolección automática consiste en el uso ininterrumpido de bandas de 5 a 10 cm de grosor colocadas al frente de la jaula, transportando el huevo hasta la empacadora. El sistema manual se lleva a cabo hasta 2 veces al día con el uso de conos o cajas de cartón como equipo recolector (Barroeta et al., 2011; SAGARPA & SENASICA, 2016). Una vez seleccionado, es limpiado y clasificado para su comercialización, depreciando el huevo grande, roto, deforme o de baja calidad en cascarón. La clasificación de huevo en México se da en las especificaciones de la norma NMX-079-SCFI-2004, siendo estas: México extra, México 1, México 2 y Fuera de clasificación.

El conjunto de los procesos para la obtención del huevo para plato se aprecia en la Figura 12, el cual se resume como el ciclo de vida de una gallina ponedora que consiste desde la eclosión del huevo, hasta su fin de periodo de puesta.

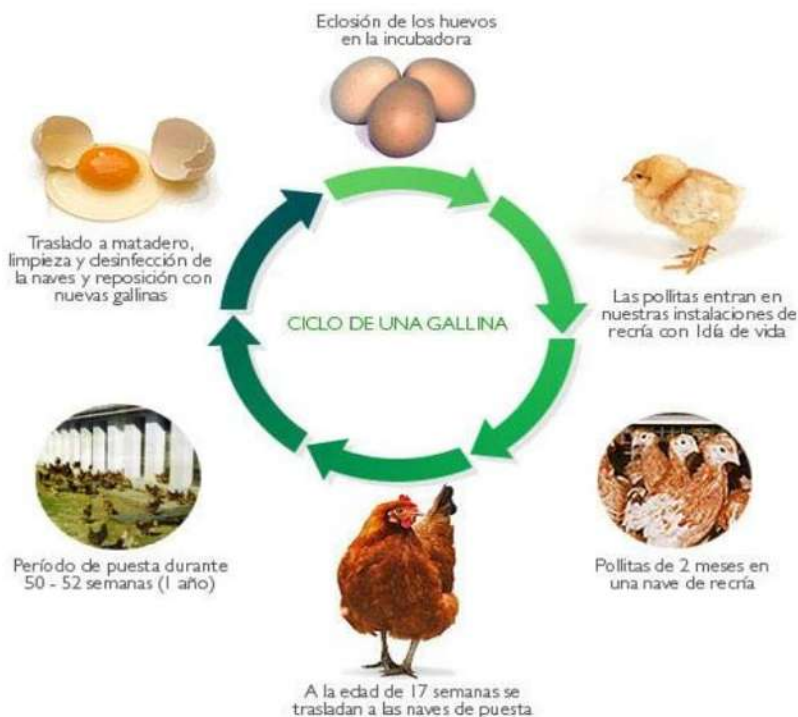


Figura 12. Etapas de la vida de una gallina ponedora (Vega, 2016).

1.6.3. Requerimiento energético.

El consumo energético (electricidad, gas y diésel) en el sector avícola está directamente relacionado con el confort térmico, la calidad del aire, luminosidad y ventilación de aves, las cuales son las actividades de mayor demanda. Sin embargo, este gasto depende según su edad, tipo de nave, región ubicada, mantenimiento y prácticas de manejo como: alimentación, transporte, limpieza y distribución (Arroyo, 2014; Oviedo-Rondón, 2009; Vega, 2016).

El gasto de insumos tiene un impacto en las emisiones de GEI, sin embargo, tras una evaluación adecuada se puede determinar oportunidades de ahorro que puede mejorar el proceso según el tipo de granja. Ya sea combustible o electricidad, el peso final del pollo a criar es fundamental para conocer el insumo de mayor demanda, como se observa en la Tabla 10 (Oviedo-Rondón, 2009). Sin importar el tipo de nave a utilizar, se puede reducir el gasto energético sin afectar el rendimiento de las aves, tomando en cuenta las buenas prácticas:

- Cambiar focos incandescentes por otros más eficientes como LED.
- Limpieza y mantenimiento de equipos.

- Aumentar aislamiento térmico en techo.
- Reducir la producción de amoníaco (NH₃) y fugas de agua.

Tabla 10. Comparación de consumo energéticos anuales de los sistemas de producción de pollo para cría de acuerdo el peso.

Parámetros	Peso final de la gallina (kg)	
	1.8	2.8
Gas propano		
Consumo anual promedio, L	21, 119	14, 308
Variación en consumo anual, L	12, 270 – 25, 877	10, 603 – 22, 194
Eficiencia de la utilización, L/1000 kg pollo	53.7	44.7
Variación en la eficiencia de uso, L/1000 kg pollo	32 – 66.4	31.4 – 75.2
Electricidad		
Consumo anual promedio, kWh	30, 263	31, 236
Variación en el consumo anual, kWh	21, 277 – 39,968	24, 157 – 34,
Eficiencia de utilización, kWh/1000 kg pollo	77	96.6
Variación en eficiencia del uso, kWh/1000 kg pollo	51 - 100	71.6 – 126.5

Fuente: (Oviedo-Rondón, 2009)

1.6.4. Legislación para granjas avícolas en materia de producción, y uso de insumos como energía y agua.

En México existen normativas que pueden regular las granjas avícolas (Tabla 11) en materia de producción, agua y consumo de energía, esta última a través de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de Energía (CONUEE) que aporta la Secretaría de Gobierno.

Hasta el momento no se dispone de una normativa mexicana específica que se enfoque en la eficiencia del consumo energético industrial, sin embargo, la ISO 50001 es una norma internacional voluntaria para una mejora continua en el desempeño energético de las organizaciones (Energía, 2017), abarcando puntos como:

- Medición, inventario y presentación de informes de uso y consumo energético.
- Diseño y prácticas de adquisición para equipos, sistemas y procesos consumidores de energía.
- Desarrollo de un plan de gestión energético para una mejora en el rendimiento.

Tabla 11. Normativas para la regulación directa o indirecta de procesos avícolas.

Norma	Característica
Consumo/uso energético	
NOM-001-SEDE-2012	Utilización de instalaciones eléctricas.
NOM-010-ENER-2004	Eficiencia energética del conjunto motor bomba sumergible tipo pozo profundo. Límites y método de prueba.
NOM-017-ENER/SCFI-2012	Eficiencia energética y requisitos de seguridad de lámparas fluorescentes compactas autobalastadas. Límites y métodos de prueba.
NOM-028-ENER-2010	Eficiencia energética de lámparas para uso general, Límites y métodos de prueba.
NOM-009-ENER-2014	Eficiencia energética en sistemas de aislamientos térmicos industriales.
NOM-085-SEMARNAT-2011	Contaminación atmosférica-Niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y su medición.
Inocuidad del producto	
NOM-002-SCFI-2011	Productos preenvasados. Contenido net-Tolerancias y métodos de verificación.
NMX-FF-127-SCFI-2016	Productos avícolas. Huevo fresco de gallina. Especificaciones y métodos de prueba.
NOM-Y-121-A-1979	Alimento para gallinas en producción de huevo para plato.
NOM-159-SSA1-1996	Bienes y servicios. Huevo, productos y derivados. Disposiciones y especificaciones sanitarias.

Fuente: (DOF, 2017).

1.6.5. Impacto ambiental en actividades avícolas.

La gestión de insumos es fundamental para la sostenibilidad de esta práctica industrial. La producción de huevo para plato genera residuos como despojos derivado de la cría y puesta, paja y virutas de la cama, así como aguas residuales y gallinaza (Tabla 12), causando problemas potenciales en relación al agua y en algunos casos el suelo (C. M. . Williams, 2011a). Los contaminantes respecto a la calidad del aire incluyen el NH₃, sulfuro de hidrógeno (H₂S), compuestos orgánicos volátiles (COV) y partículas de polvo emitidas por las granjas. Una alta concentración de nutrientes en una región repercute en la salud de los seres vivos aledaños (C. M. Williams & Carolina, 2011).

Las actividades para el manejo de aves de corral en naves generan impactos ambientales derivado de la deposición atmosférica de sus emisiones, entre estos:

- Acidificación, eutrofización y degradación de aguas superficiales/subterráneas por escorrentía/acumulación de nitratos.
- Disminución de productividad forestal, por el aumento en la carga de nitrógeno y fósforo.
- Acumulación de metales como zinc, cobre y potasio, en suelo y agua derivados de gallinaza.
- Erosión del suelo, por desequilibrio de nutrientes.
- Problemas a la salud por emisiones de polvo que pueden contener materia fecal, bacterias, endotoxinas, hongos y ácaros.

Tabla 12. Contenidos de nutrientes en la gallinaza procedente del tipo de manejo de aves.

Gallinaza	Nitrógeno	Fósforo	Cobre	Zinc
	(kg/t de excreta)			
Ponedoras	13.5	10.5	0.01	0.07
Pollos para carne	13	8	0.01	0.04
Pollos de engorde	35.5	34.5	0.26	0.36

Fuente: (C. M. . Williams, 2011b).

1.7. Antecedentes.

1.7.1. Estudio del proceso productivo de la industria avícola.

El estudio del proceso en la obtención de huevo para plato desde sus cadenas de suministro hasta sus productos por herramientas como ACV, deriva en la importancia medioambiental para una mejora sustentable de la industria avícola (da Silva J. & R. A. F. de Alvarenga, 2008), llevaron a cabo un estudio en la producción y cadenas de suministro para la realización de un ACV en aves de corral brasileñas, en donde la Figura 13 proporciona un diagrama de flujo del proceso avícola en sus sistemas productivos analizados, que se puede observar entradas de insumos como materias primas y energía, así como salidas de productos y derivados. En estudios realizados para identificar las consecuencias ambientales por el manejo a gran escala de aves de corral para obtención de carne, se identificó que la alimentación en las etapas de desarrollo contribuye a los mayores impactos generados (Silva, 2011).

En la producción de huevo para plato, las entradas al sistema se delimitan para identificar impactos ambientales derivados de las emisiones del proceso, como se muestra en la Figura 14 (Leinonen, Williams, Wiseman, Guy, & Kyriazakis, 2012).

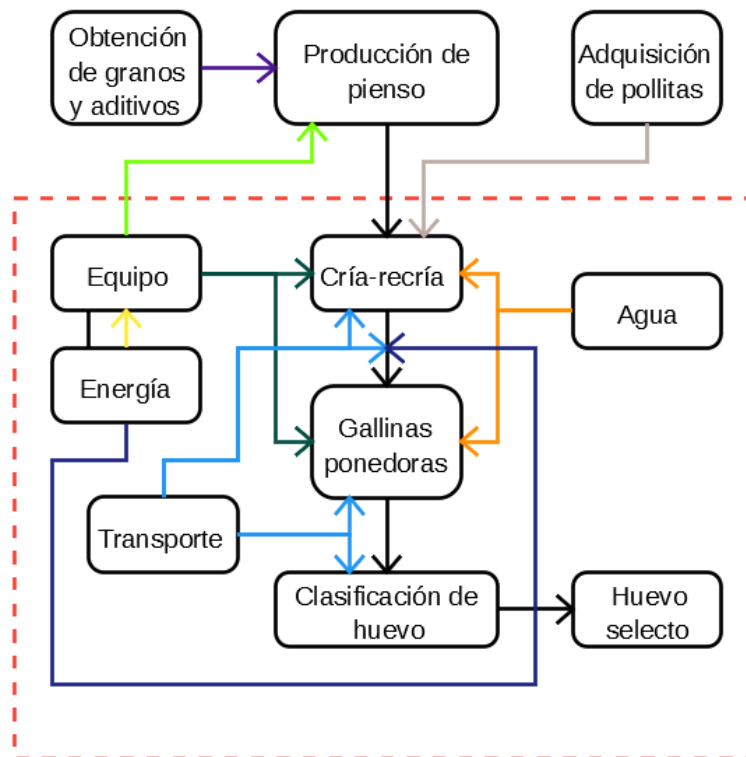


Figura 13. Sistema delimitado a la producción de huevo para plato (Leinonen et al., 2012; Wiedemann S.G., 2011).

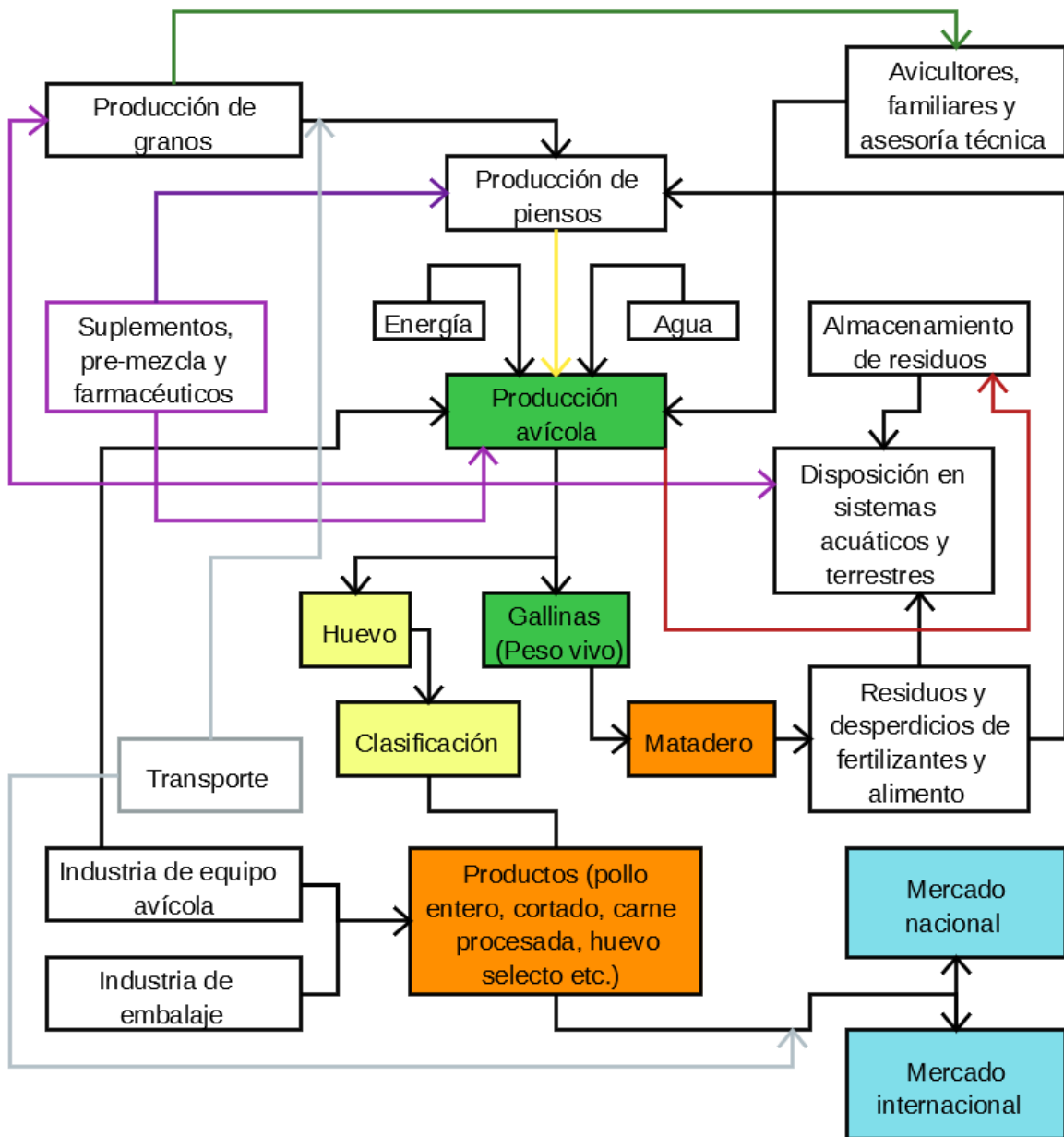


Figura 14. Diagrama de flujo del sistema de producción para huevo (da Silva J. & R. A. F. de Alvarenga, 2008).

1.7.2. Consumo energético en la producción de huevo.

El proceso productivo del huevo demanda energía sobre todo para la creación de un microclima ideal para el confort de las aves, movilizar alimento, materiales, entre otros que varían según el grado de tecnificación de acuerdo los objetivos de producción. Se ha reportado que para la producción de aves de engorda la calefacción corresponde de un 80-90 % del gasto energético de combustible, lo que contribuye hasta un 9 % del impacto ambiental total del proceso (Christel Cederberg, Berglund, & Sonesson, 2009; N. Pelletier, 2008). En la Tabla 13 se muestran gastos energéticos reportados por kg de huevo producido.

Tabla 13. Comparación del consumo energético en la producción 1 kg de huevo para plato de diversos estudios a nivel global.

Lugar	Sistema de alojamiento	Consumo energético (MJ/kg huevo)
Australia	Jaula controlada	10.7 +/- 0.9
Reino Unido	Jaula	13.6
Suiza	Jaula	17.3 – 18.7
Australia	Corral	13.1 +/- 1.1
Alemania	Orgánico	13.1
Reino Unido	Corral	15.4

Fuente: (Dekker, Boer, Aarnink, & Groot Koerkamp, 2008; Sonesson, Cederberg, & Carlsson, 2008; Wiedemann S.G., 2011; A. G. Williams, Audsley, & Sandars, 2006).

1.7.3. Emisiones de GEI en la producción de huevo.

Las emisiones del sector avícola tiene origen en tres procesos principales (FAO, 2017; C. M. Williams, 2011b):

- Consumo energético.

Presente en toda la cadena de producción, desde la maquinaria útil para el transporte de granos para alimentación hasta el uso de energía en las granjas para la ventilación, iluminación, climatización etc. A demás, el embalaje de productos también tiene un alto gasto y generación de emisiones.

- Producción de piensos.

Las emisiones de CO₂ proviene del cultivo y expansión de pastizales para la alimentación de aves, así como de la fabricación de fertilizantes y pesticidas para estos.

- Gestión de estiércol.

En las instalaciones de producción el amoníaco es el contaminante de mayor impacto ecológico, sin embargo, también se encuentran altas cantidades de fósforo en el estiércol, que en altas concentraciones de ambos compuestos genera problemas ambientales. En la Tabla 14 se muestra una comparación de distintos estudios en la emisión de GEI en la producción de 1 kg de huevo para plato.

Tabla 14. Comparación en la emisión de GEI en la producción 1 kg de huevo para plato de diversos estudios a nivel global.

Lugar	Sistema de alojamiento	GEI (kg CO ₂ eq / kg huevo)
Australia	Jaula controlada	1.3 +/- 0.2
Suiza	Jaula	1.4
Suiza	Jaula (incluye embalaje)	1.6 – 1.8
Canadá	Jaula	2.5
Inglaterra	Jaula	3.9
Reino Unido	Jaula	5.25
Australia	Corral	1.6 +/- 0.3
Alemania	Orgánico	4
Inglaterra	Corral	4.6
Reino Unido	Corral	6.18
México	Se desconoce	

Fuente:(C Cederberg, Sonesson, Henriksson, Sund, & Davis, 2009; Dekker et al., 2008; Mollenhorst, Berentsen, & Boer, 2006; Sonesson et al., 2008; Verge et al., 2009; Wiedemann S.G., 2011; A. G. Williams et al., 2012).

1.7.4. Análisis de Ciclo de vida en la producción de huevo.

El análisis de ciclo de vida (ACV) hoy en día, es una de las metodologías que ha despertado interés en el sector avícola entre la comunidad científica y agropecuaria, ya que permite evaluar los impactos ambientales relacionados con los balances de materiales y energía del sistema productivo (Leinonen et al., 2012). Esta técnica ha sido aplicada para evaluar los impactos ambientales de la cadena de suministro en la producción de huevo para plato de las granjas como potencial de calentamiento global, emisiones de GEI, dieta, consumo energético y agua, uso de suelo, potencial de acidificación, eutrofización y déficit/exceso de nitrógeno y fósforo (Dekker, de Boer, Vermeij, Aarnink, & Koerkamp, 2011), en países como Australia, Suiza, China, Reino Unido, etcétera, por ejemplo, en Estados Unidos y Canadá por cada *t* de huevo producido en granjas tecnificadas se generan respectivamente 70 kg SO₂ eq,

20 kg PO₄ eq, 2,080 kg CO₂ eq y 12,000 MJ; 70 kg SO₂ eq, 20 kg PO₄ eq, 2,080 kg CO₂ eq y 12,000 MJ (Nathan Pelletier, 2017). La dieta para ave de corral es uno de los parámetros de mayor impacto derivado de los procesos previos utilizados a obtener el alimento, lo cual recomiendan aumentar el rendimiento por hectárea cosechada, equilibrar alimento, así como mejorar operaciones de procesamiento y transporte. Sin embargo, en el proceso de postura la iluminación tiende a generar un impacto negativo, siendo una alternativa el uso de fuentes energéticas renovables (C Cederberg, Hedenus, Wirsenius, & Sonesson, 2013; N. Pelletier, Ibarburu, & Xin, 2014; Vega, 2016; Verge, Dyer, Desjardins, & Worth, 2009).

En el caso de México no hay hasta el momento un diagnóstico ambiental que permita identificar generalidades del sector avícola, como sus impactos y la aportación de emisiones de GEI en el país, como es el caso de El Salvador (MMARN, 2008). Sin embargo, hay investigaciones que caracterizaron y cuantificaron las entradas y salidas en algunas etapas del proceso, como es el caso de (Vega, 2016), que llevó a cabo un estudio para el análisis del gasto energético en la granja “Laguna Colorada” en Tepatitlán, Jalisco, identificando que en sus prácticas comunes por cada *t* de huevo producido en la etapa de postura hay un consumo de 8,155 kWh. A través de su propuesta, utilizando paneles fotovoltaicos como alternativa para la energía eléctrica necesaria, se determinó una demanda alternativa de 2,309 kWh, lo que representaría una reducción 71.1 % de la demanda total de energía requerida en el proceso, con una mitigación equivalente de 2,922.7 kg de CO₂ eq por ciclo productivo.

1.7.5. Herramientas de manufactura esbelta en procesos industriales

La aplicación de herramientas de manufactura esbelta permite que una industria, entre sus objetivos, contemple procesos de fabricación sustentable brindando las mejoras necesarias para incrementar productividad, eficiencia, capacidad y reducción de mermas. Dentro de los casos de éxito en la implementación del concepto esbelta se tienen (Hernández & Vizán, 2013):

La industria Maheso, una empresa española dedicada al procesado de alimentos, llevó a cabo un diagnóstico detallado de la planta hallando que las áreas de pasta rellena y frituras presentaban un potencial de mejora. Tras la implementación de las mejoras seleccionadas ambas líneas presentaron un 10% de incremento en eficiencia y 15 % en productividad, además de una disminución en mermas de hasta un 60 % para la línea de pasta rellena.

La industria Bodegas Murviedro, planteó la necesidad de reducir costos para sus líneas de envasado y acceder a más clientes. Se utilizó la herramienta *Overall Equipment Effectiveness* (OEE, por sus siglas en inglés), como indicador de eficiencia y pérdidas asociadas al proceso. Los resultados arrojaron un incremento del 11.30 % en eficiencia y 12.85 % en productividad. La industria Gallina Blanca-STAR implementó las herramientas esbeltas SMED, OEE y Poka-Yokes en las líneas de pastillas de caldo Ballobar y en salsas y sopas de Miajadas. Desde el punto de vista operativo, entre los beneficios se tuvo un aumento superior al 10 % de OEE, cumplimiento del 100 % del servicio y una reducción de tiempos de cambio del 70 %.

Una industria dedicada a la fabricación de componentes para automóviles ubicada en Tamil Nadu, India, produce alrededor de 6000 componentes/mes. Utilizaron la herramienta VSM para inventariar tiempos, costos, consumo de material, agua y combustible. Además, integraron la herramienta de ACV para identificar los impactos ambientales en cada etapa del proceso. Estas acciones permitieron proponer una solución ecoeficiente con reducción en consumos del 25 % en materiales, 19.12 % en energía y 14 % de agua, así como impactos ambientales con 7 % en huella de carbono y 6 % en acidificación de aire (Vinodh et al., 2016).

1.8. Justificación

El sector avícola tiende un incremento a la demanda de productos como el huevo para plato, sólo en México en el 2015 se produjeron 2,653,000 t de este ovoproducto con un consumo anual de 22.1 kg por persona, posicionándose como el 5° productor mundial (Gob.mx, 2017). En la actualidad los procesos pecuarios son considerados como una importante fuente GEI de impacto ambiental en agua, suelo y aire (SAGARPA, 2009). Sin embargo, para México hay una carencia de estudios que caractericen los impactos ambientales relacionadas al consumo energético, agua, alimento y manejo del proceso productivo, siendo subestimado en el inventario nacional de emisiones (Arroyo, 2014; Vega, 2016).

La cuantificación en el consumo de los insumos y energía en la producción avícola a través de un ACV, así como el uso de herramientas de mejora industrial como VSM, permitiría evaluar los impactos ambientales hasta optimizar la gestión de recursos sin reducir la eficiencia del proceso en la obtención de huevo. Además, facilita el conocimiento del estado actual de la industria e identificaría una propuesta ecoeficiente del proceso productivo.

Esta propuesta se enfoca en el estudio del uso de recursos energéticos y materias primas en naves productoras de huevo para plato en la región Tepatitlán de Morelos, Jalisco, principalmente en las etapas de cría-recría de pollitas y postura para la obtención de huevo.

1.9. Hipótesis

La producción de huevo del sector avícola como el resto de procesos pecuarios, presentan impactos ambientales y desperdicios por el flujo de recursos consumidos durante su ciclo de vida.

Se cree que integrando las herramientas de análisis de ciclo de vida y herramientas de manufactura esbelta se llegará hasta una capacidad de carga positiva de insumos en etapas de producción, reduciendo consumos y emisiones; estimado con un enfoque de ecoeficiencia.

1.10. Objetivo general

Diseñar una propuesta de ecoeficiencia aplicado a la producción de huevo para plato en una granja avícola en la región de Tepatitlán de Morelos, Jalisco, mediante la integración del análisis de ciclo de vida y herramientas de manufactura esbelta.

1.10.1. Objetivos específicos

- Estudiar e inventariar la producción de huevo para plato *in situ*.
- Realizar un ACV de la producción del huevo considerando el proceso actual
- Identificar los procesos con potencial de mejora mediante herramientas estadísticas y de manufactura esbelta (Mapa de flujo de valor).
- Generar una propuesta de mejora (eficiencia) para el proceso de producción de huevo.

1.11. Plan general de trabajo.

Fase I. Etapa de conceptualización.

Actividad I. Delimitación del tema de investigación

Fase II. Realización de un análisis de ciclo de vida.

Actividad I. Localización de la región de interés productora de huevo.

Actividad II. Identificar los sistemas de alojamiento disponibles en la región de estudio.

Actividad III. Establecer el límite del sistema para el análisis de ciclo de vida.

Fase III. Estudio y aplicación de la herramienta manufactura esbelta.

Actividad I. Selección de la familia de productos.

Actividad II. Mapeo actual de sistema productivo.

Actividad III. Identificación de puntos de mejora.

Fase IV. Propuesta de eficiencia.

Actividad I. Integración de herramientas ACV y VSM.

Actividad II. Generación de propuesta de eficiencia para la producción de huevo.

Fase V. Actividades académicas adicionales.

Actividad I. Participación en congresos.

Actividad II. Escritura de artículo.

Capítulo 2.

Análisis de Ciclo de Vida

2.1 Desarrollo del análisis de ciclo de vida.

El ACV está orientado al rediseño de productos o servicios en el criterio de recursos energéticos y materias primas finitas, que se disponen más rápido de lo que se reemplazan. De acuerdo con la norma ISO 14040:2006, esta técnica de evaluación de impacto ambiental consta de cuatro fases (Figura 15). Primero se debe identificar el área de estudio, posteriormente se delimitan los objetivos y el alcance, después se lleva a cabo un inventario en las entradas y salidas del sistema evaluando los impactos ambientales asociados, y finalmente se interpretan los impactos ambientales en relación al alcance de estudio (Blanca, 2003; Kisan, Sangathan, Nehru, & Pitroda, 2006).

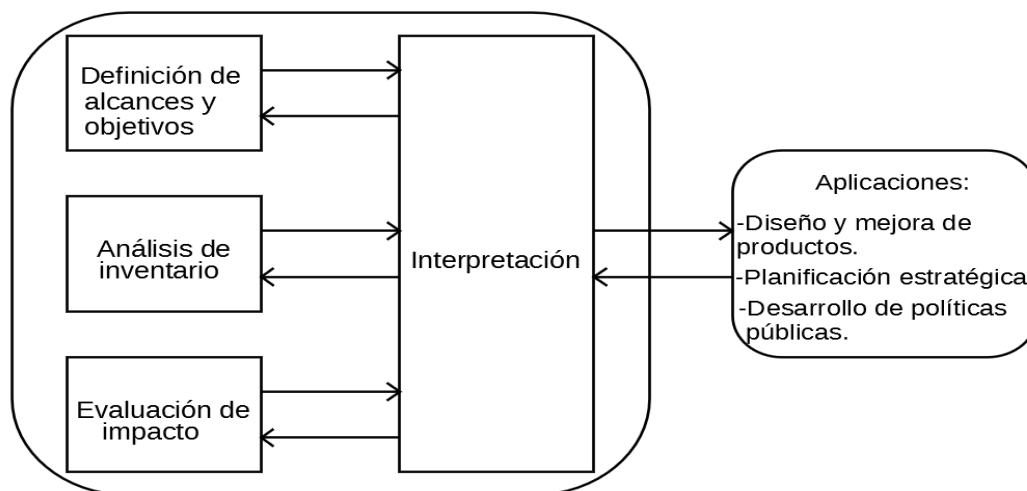


Figura 15. Fases de la metodología del ACV (CEGESTI, 2001).

Las fases del ACV se explican a continuación:

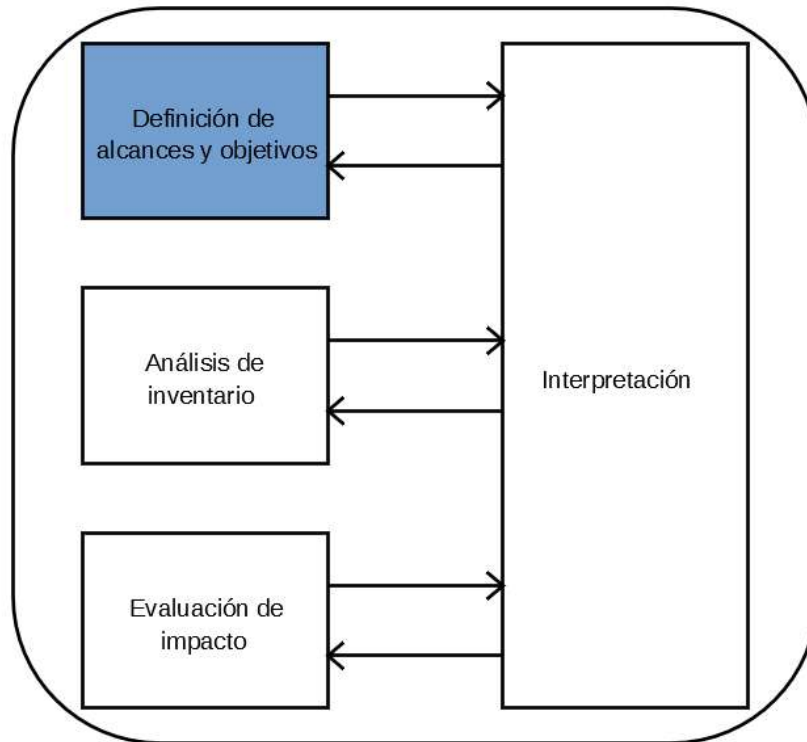
1. Identificar el área de estudio: delimitar dónde se efectuará el análisis del sistema-producto.
2. Definición de objetivos y alcance: precisar los objetivos de estudio, los límites del sistema a estudiar, e identificar elementos que conformen el ACV.

3. **Análisis de inventario:** recolección de datos y procedimiento de cálculos para cuantificar entradas y salidas de un sistema producto a través de un balance de materia y energía entre los componentes que conforman el ACV.
4. **Evaluación de impacto ambiental del ciclo de vida:** dilucidar impactos ambientales asociados al sistema estudiado en relación al inventario. Los pasos para cumplir esta fase de evaluación de impacto se presentan en la Tabla 15.
5. **Interpretación:** identifica, cuantifica, revisa y valora los datos arrojados derivado de los resultados de la fase de inventario y evaluación. Provee ventajas comparativas al proporcionar los elementos del análisis de estudio, que ayudan a identificar oportunidades de cambio en las fases del proceso productivo.

Tabla 15. Fases para llevar a cabo la evaluación de impacto ambiental del ACV (CEGESTI, 2001; Sostenible, 2001).

Fases	Descripción
Selección y definición de categorías de impacto	Identificar categorías adecuadas de impacto ambiental como acidificación, eutrofización, cambio climático, etc.
Clasificación	Asignar resultados del inventario a categorías de impacto.
Caracterización.	Modelar impactos ambientales del inventario dentro de las categorías de impacto.
Normalización	Expresar impactos ambientales potenciales en formas comparadas (impacto ambiental de CO ₂ y CH ₄).
Agrupación	Clasificación de indicadores, por ejemplo, por ubicación: local, regional, global.
Ponderación	Identificar los impactos ambientales de interés.
Evaluación y reporte	Asociar resultados de los datos obtenidos del análisis del inventario con impactos ambientales.

2.2 Definición de objetivo y alcance



2.2.1. Objetivo del ACV

El objetivo es estimar el impacto ambiental de la producción de huevo para plato, aplicando el ACV. El estudio será presentado como proyecto de Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental, y los resultados serán reportados a la comunidad científica y agrícola. Este estudio no incluye comparación entre sistemas.

2.2.2. Alcance

2.2.2.1. Descripción del sistema y área de estudio

El sistema-producto consiste en la producción de huevo para plato a partir del ciclo de vida productivo de una gallina ponedora. La producción se realiza en una granja semitecnificada conocida como “Laguna Colorada” durante la época de verano, ubicada en Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México (Figura 16).

Las fases que engloban la producción del sistema-producto son cría y desarrollo de aves, para finalmente llegar a la fase de postura.

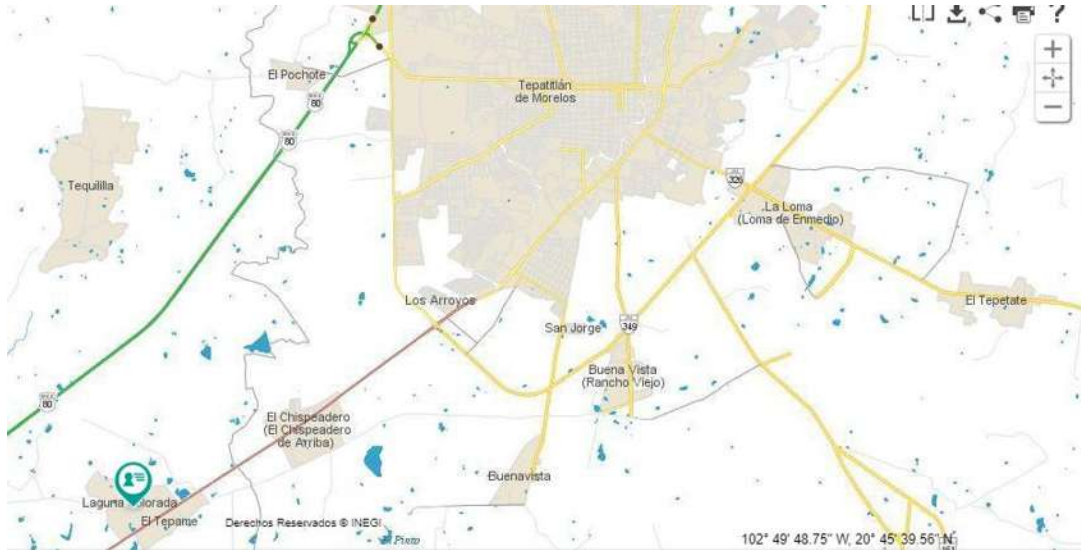


Figura 16. Ubicación del sitio de estudio (Fuente: Google Maps).

2.2.1.2. Unidad funcional y flujo de referencia

Producción de 1 kg de huevo para plato en una granja semitecnificada. Se consideran tres fases de producción: cría, desarrollo y postura de huevo; con un tiempo respectivo de 6, 10 y 60 semanas. Por cada ciclo de producción de 76 semanas se tiene un flujo de referencia de 1,800,000 kg de huevo para plato.

2.2.1.3. Límites del sistema

El sistema-producto se limita a las fases de cría de pollitas, el desarrollo de aves, la postura de huevo, el empaque de este y la disposición final de los residuos durante el ciclo de vida de la gallina ponedora (Figura 17).

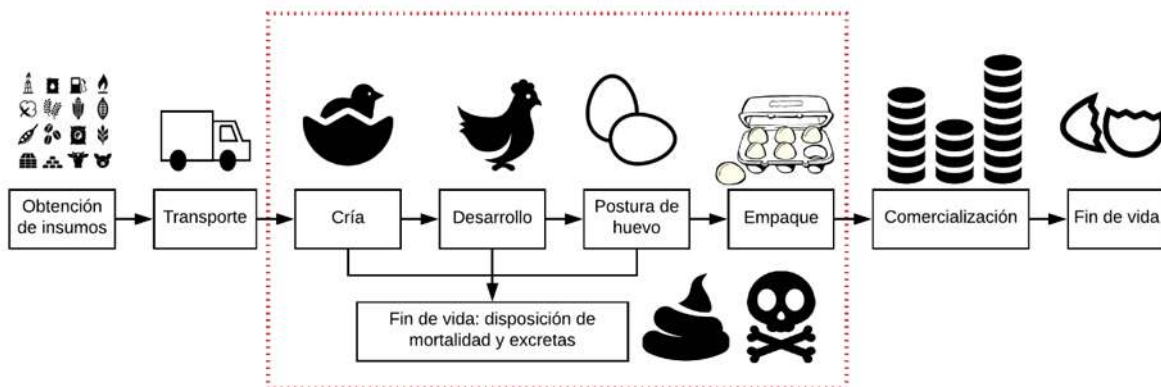


Figura 17. Sistema-producto del estudio (Fuente: Propia).

- Descripción de la etapa de cría de pollitas

Para esta fase, así como las siguientes se analizó el gasto energético de equipos y materiales, como alimento y agua que brindan confort a las aves. La cría de pollitas tiene una duración de seis semanas, las cuales ingresan de un día de nacidas, hasta concluir el lapso de la fase (Figura 18).

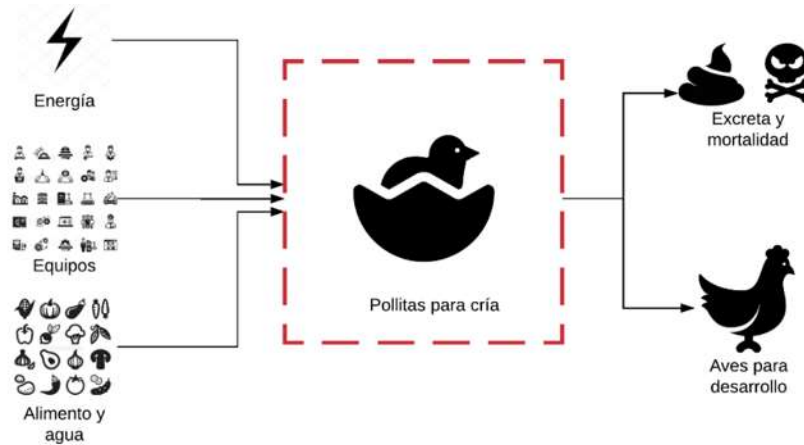


Figura 18. Entradas y salidas en la etapa de cría durante 6 semanas (Fuente: Propia).

- Descripción de la etapa de desarrollo de aves

Durante esta fase las aves pasan a ser atendidas por un periodo de diez semanas. A diferencia de la cría de pollitas y la postura de huevo, durante el desarrollo de aves la alimentación es manual. En la Figura 19 se muestra una ilustración.

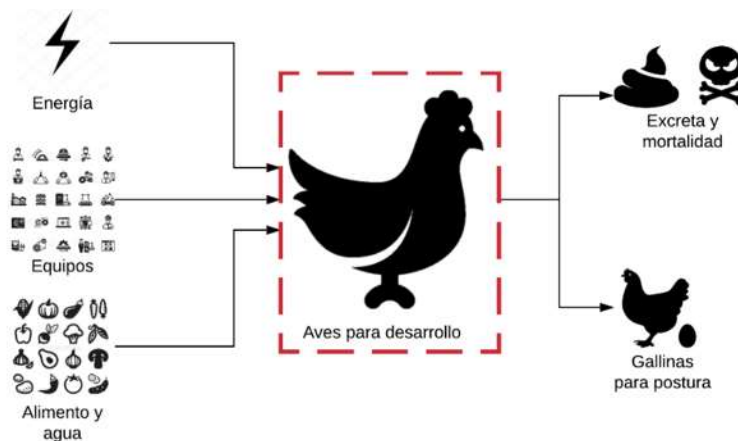


Figura 19. Entradas y salidas en la etapa de desarrollo durante 10 semanas.

- Descripción de la etapa de postura de huevo
Esta etapa de producción tiene un periodo de 60 semanas y es la última fase del ciclo de vida de la gallina ponedora. Durante este tiempo se obtiene huevo para plato que posteriormente se manda a empacar (Figura 20).

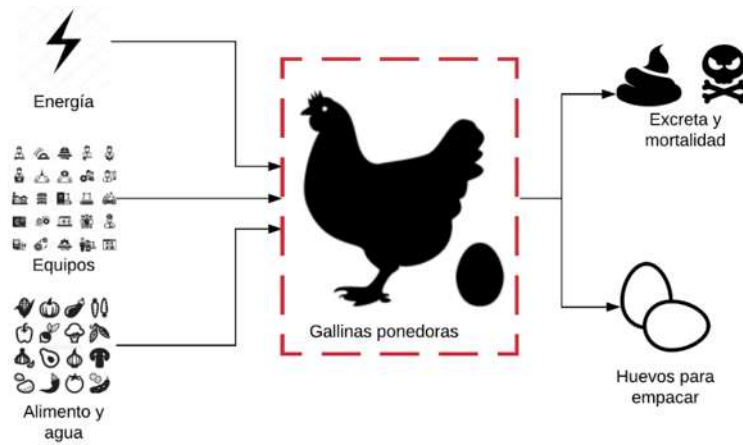


Figura 20. Entradas y salidas en la etapa de postura de huevo para plato durante 60 semanas.

- Empacado de huevo.
Durante esta fase el huevo es seleccionado y empacado manualmente de la etapa anterior. La producción y la disposición final de los empaques de huevo y las cajas para empacar los productos generan una huella ambiental (Figura 21).

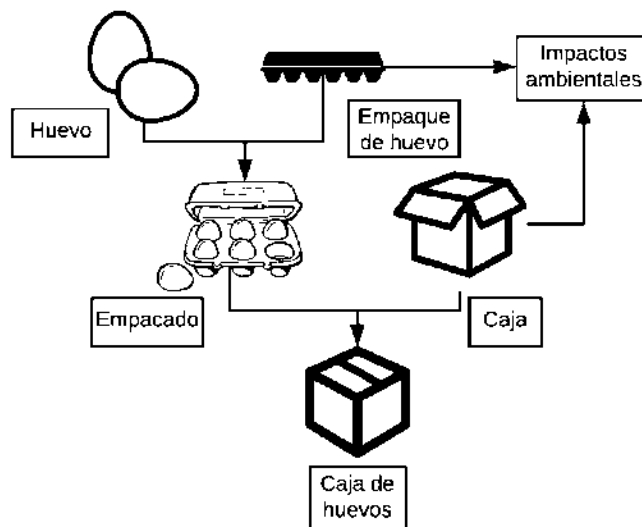


Figura 21. Materiales y proceso de empaquetado de huevo.

- Fin de vida.

Se consideró la mortalidad de aves y gestión de heces para cada fase del ciclo de vida de las gallinas ponedoras. De esta manera, son dos escenarios de residuos:

- Escenario de gestión de aves: se determinó el número de aves muertas en cada etapa en base a una proporción de mortalidad. Para las fases de cría y desarrollo, su posterior tratamiento es por compostaje (Sin embargo, las gallinas perdidas en la postura de huevo tienden a ser mandadas al rastro para ser valorizadas).
- Escenario de gestión de heces: las descargas de heces de las aves durante la producción son vertidas en la tecnósfera, para posteriormente trasladarlos hacia un tratamiento y obtener composta como producto principal. En la Figura 22 se muestra un diagrama de los escenarios.

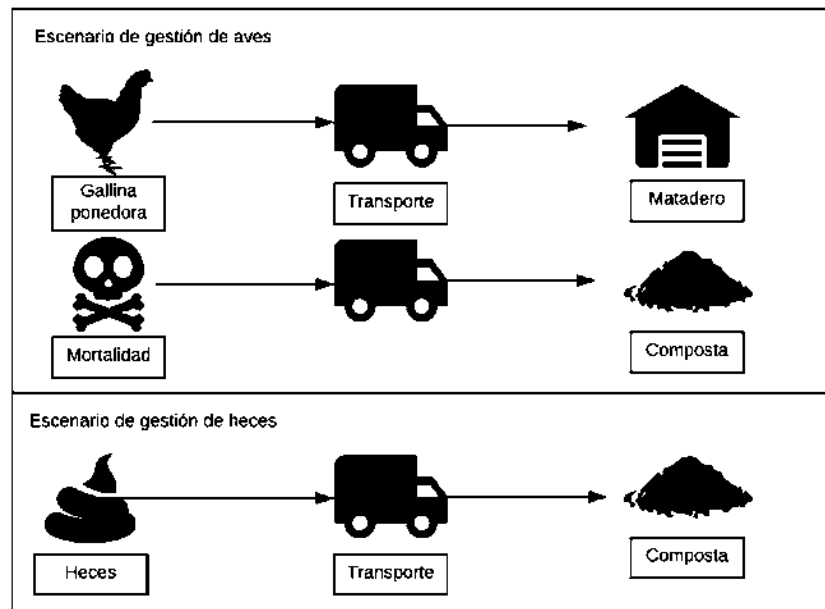


Figura 22. Disposición final de residuos.

2.2.1.4. Tipos y fuentes de datos

Se obtuvieron datos directamente de la granja avícola productora de huevo, así como de sitios *web* y artículos científicos. Para el análisis de impacto se utilizaron bases de datos de Ecoinvent 3.0 y Agri-footprint, contenidos en el Software de ACV SimaPro versión 8.5 (Tabla 16).

Tabla 16. Tipos y fuentes de datos (Fuente: propia).

Etapa	Dato	Tipo	
Cría	Alimento	Medido	Datos recogidos directamente de la granja de interés para el análisis de ciclo de vida.
	Agua	Medido	
	Pollitas	Medido	
	Iluminación	Calculado	
	Calefacción	Calculado	
	Bomba de agua	Calculado	
Recría	Alimento	Calculado/estimación	
	Agua		
	Aves		
	Iluminación		
	Bomba de agua		
Postura de huevo	Alimento	Calculado	
	Agua		
	Gallinas ponedoras		
	Agua		
	Iluminación		
	Bomba de agua		
	Suministro de alimento		
Empacado	Empaque para huevo	Calculado	Administración
	Cajas de huevo	Calculado	
Residuos	Excreta de cría	Calculado	(Lon-Wo, 2003; UAP, 2012; ULPGC, 2015)
	Excreta de recría	Calculado	
	Excreta de postura	Calculado	
	Mortalidad de aves	Medido	

2.2.1.5. Criterios de la calidad de la información

Se constató la calidad de la información en base a los criterios de calidad de los datos de la norma internacional ISO 14044:2006. Se llevó a cabo una matriz de validación para cada etapa del ciclo de vida del sistema-producto. Los criterios de calidad se muestran a continuación:

- Cobertura temporal. Un ciclo de producción un total de 76 semanas. Se identificó que la producción de huevo para plato consta de tres fases, dependientes de la edad del ave:
 1. Cría de pollitas (6 semanas).
 2. Desarrollo de aves (10 semanas).
 3. Postura de huevo (60 semanas).

Los datos de este estudio fueron levantados en verano del año 2015.

- Cobertura gráfica: Los datos son representativos para el área de estudio, es decir, la granja “Laguna Colorada” en la ciudad de Tepatitlán de Morelos, en la región Altos Sur del estado de Jalisco. Las coordenadas geográficas de la granja son:
 1. Latitud: 20.7530835
 2. Longitud: -102.8488179
- Clima: La región Altos Sur presenta un clima templado sub-húmedo en la mayor parte del año, con condiciones de temperatura y presión de 23.1°C y 1.023 bar, respectivamente.
- Representatividad: los datos e información son representativos para la granja del estudio en cuestión, y toda aquella que presente condiciones similares de operación y geografía.
- Consistencia: el análisis se llevó a cabo a la norma ISO-14044:2006.
- Reproducibilidad: el análisis de incertidumbre del inventario del ciclo de vida se presenta en la sección 2.5.5.

La incertidumbre de la calidad de los datos se analizó mediante una matriz de Pedigree, llevando a cabo el análisis mediante el software SimaPro 8.5. Los criterios para la calidad de la información se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17. Matriz de Pedigree para indicadores de calidad (Tomado y editado de: SimaPro 8.5).

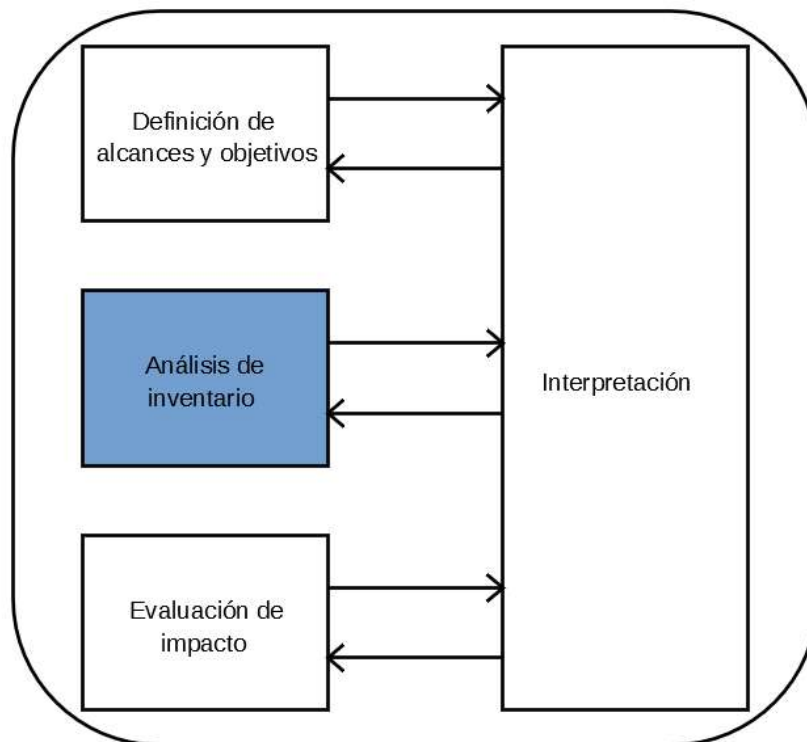
Indicador	1	2	3	4	5
Fiabilidad	Datos verificados basados en mediciones directas.	Datos verificados parcialmente basados en hipótesis o datos no verificados basados en mediciones directas.	Datos no verificados basados en hipótesis.	Estimaciones calificadas (Ej. Expertos en la industria).	Estimaciones no calificadas y datos con origen desconocido.
Integridad	Datos representativos de todos los sitios.	Datos provenientes de > 50 % de los sitios.	Datos representativos de sólo algunos sitios (< 50 %)	Datos representativos de un solo sitio.	Representatividad desconocida.
Correlación temporal	Menos de 3 años de diferencia con el año de estudio.	Menos de 6 años de diferencia con el año de estudio.	Menos de 10 años de diferencia con el año de estudio.	Menos de 1 años de diferencia con el año de estudio.	Años de los datos desconocidos.
Correlación geográfica	Datos del área bajo estudio.	Datos medidos procedentes de un área mayor que abarca el área bajo estudio.	Datos procedentes de un área menor o similar a las condiciones de producción.	n.a.	Datos procedentes de un área desconocida o con condiciones de productividad diferentes.

Correlación tecnológica	Datos procedentes de empresas, procesos y materiales bajo estudio.	Datos procedentes de procesos y materiales bajo estudio (Ej. Idéntica tecnología) pero de diferentes empresas.	Datos procedentes de procesos y materiales bajo estudio, pero diferentes tecnologías.	Datos relacionados con los procesos y materiales.	Datos relacionados con los procesos a escala de laboratorios o procedentes de diferentes tecnologías.
-------------------------	--	--	---	---	---

2.2.1.6. Evaluación de impacto de ciclo de vida

La evaluación del impacto de ciclo de vida de la producción de huevo para plato se llevó a cabo por el método “ReCiPe Midpoint V1.13/World ReCiPe H”. El análisis consideró todas las categorías de impacto del punto medio y se empleó el software para ACV “SimaPro” versión 8.5.

2.3. Etapa del análisis del inventario de ciclo de vida



La gestión de las entradas y salidas del sistema se ajustaron de acuerdo a la unidad funcional (1 kg de huevo). Posteriormente se generó la base de datos para cada fase del inventario de ciclo de vida de la producción de huevo, a partir del consumo de insumos y materiales.

En esta evaluación de impacto se tomó en cuenta la mortalidad de aves para cada etapa. En el apartado 2.5.3 se presentan los resultados para cada categoría según la fase de producción.

2.3.1. Recolección y cálculo de datos

2.3.1.1. Fase de cría de pollitas

El alimento para las pollitas es un insumo que se obtiene a través de agricultores de granos y proveedores de aditivos para la elaboración de una dieta y el desarrollo de las aves. Las pollitas de un día también provienen de un proveedor.

El consumo de energía y combustible se identificó mediante el perfil de distribución del uso de electricidad en función del tiempo para cada equipo según su proceso unitario. La granja cuenta con una instalación adecuada para la disposición de agua, por lo tanto, su gasto se mide a través de un medidor.

En la Tabla 18 se muestra el inventario de ciclo de vida para esta etapa y las siguientes tomando en cuenta los 1,800,000 kg producidos en el ciclo de vida, que posteriormente fue cargado al software SimaPro 8.5.

Tabla 18. Inventario de ciclo de vida para la etapa de cría de pollitas.

Entradas conocidas desde la tecnosfera (materiales/combustibles)	Cantidad	Unidad	Descripción
Compound feed broilers/NL Mass MX Lq	30,240	kg	Alimento
Tap water {RoW} tap water production, conventional treatment Alloc Def, U	60.322	kg	Agua
One-day-chickens. At hatchery/NL Mass Lq	94,752	p	Pollitas
Entradas conocidas desde la tecnosfera (electricidad/calor)	Cantidad	Unidad	Descripción
Electricity, medium voltaje {MX} electricity voltage transformation from high to medium voltage Alloc Def, U	582.75	kWh	Iluminación
Electricity, medium voltaje {MX} electricity voltage transformation from high to medium voltage Alloc Def, U	2,960.87	kWh	Extracción de aire
Electricity, medium voltaje {MX} electricity voltage transformation from high to medium voltage Alloc Def, U	107.42	kWh	Bomba de agua
Electricity, medium voltaje {MX} electricity voltage transformation from high to medium voltage Alloc Def, U	62.66	kWh	Suministro de alimento
Liquefied petroleum gas {RoW} petroleum refinery operation Alloc Def, U	2.8099	kg	Calefacción

Salidas conocidas a la tecnosfera. Residuos y emisiones para tratamiento	Cantidad	Unidad	Descripción
Biowaste {MX} treatment of, composting Alloc Def, U	561.6	kg	Mortalidad

2.3.1.2. Fase de desarrollo de aves

Las aves de la etapa anterior son trasladadas a la caseta de desarrollo de aves. Para el caso de los insumos energéticos y de materiales, se aplica el mismo caso que en recría, se obtienen por un inventario (Tabla 19). A partir de esta etapa equipos de calefacción y extracción ya no se utilizan por la biología del ave, además en el desarrollo de aves el suministro se da manualmente, por lo que no existe un gasto energético por dicha actividad.

Tabla 19. Inventario de ciclo de vida para la etapa de desarrollo de aves.

Entradas conocidas desde la tecnosfera (materiales/combustibles)	Cantidad	Unidad	Descripción
Compound feed broilers/NL Mass MX Lq	282,240	kg	Alimento
Tap water {RoW} tap water production, conventional treatment Alloc Def, U	564,480	kg	Agua
Laying hens < 17 weeks, breeding, at farm/NL Mass MX Lq	94,657	p	Pollitas
Entradas conocidas desde la tecnosfera (electricidad/calor)	Cantidad	Unidad	Descripción
Electricity, medium voltaje {MX} electricity voltage transformation from high to medium voltage Alloc Def, U	272.16	kWh	Iluminación
Electricity, medium voltaje {MX} electricity voltage transformation from high to medium voltage Alloc Def, U	537.12	kWh	Bomba de extracción
Salidas conocidas a la tecnosfera. Residuos y emisiones para tratamiento	Cantidad	Unidad	Descripción
Biowaste {MX} treatment of, composting Alloc Def, U	128.25	kg	Mortalidad

2.3.1.3. Fase de postura de huevo

Para esta etapa se tomaron en cuenta los datos obtenidos del inventario general de la granja, estimando perfiles de consumo para energía e insumos, obteniendo sus flujos que entran para esta etapa. En la Tabla 20 se muestra el ICV para la postura de huevo.

Tabla 20. Inventario de ciclo de vida para la etapa de postura de huevo.

Entradas conocidas desde la tecnosfera (materiales/combustibles)	Cantidad	Unidad	Descripción
Compound feed broilers/NL Mass MX Lq	3,362.340	kg	Alimento
Tap water {RoW} tap water production, conventional treatment Alloc Def, U	7,301,700	kg	Agua
Laying hens > 17 weeks, breeding, at farm/NL Mass MX Lq	94,184	p	Pollitas

Entradas conocidas desde la tecnosfera (electricidad/calor)	Cantidad	Unidad	Descripción
Electricity, medium voltaje {MX} electricity voltage transformation from high to medium voltage Alloc Def, U	5,443.2	kWh	Iluminación
Electricity, medium voltaje {MX} electricity voltage transformation from high to medium voltage Alloc Def, U	3,222.72	kWh	Bomba de agua
Electricity, medium voltaje {MX} electricity voltage transformation from high to medium voltage Alloc Def, U	1,418.94	kWh	Suministro de alimento
Salidas conocidas a la tecnosfera. Residuos y emisiones para tratamiento	Cantidad	Unidad	Descripción
Biowaste {MX} treatment of, composting Alloc Def, U	756.8	kg	Mortalidad

2.3.1.4. Fase de empaquetado

Se realizaron cálculos para determinar el peso de los materiales de cartón en la etapa de el empaque de huevo para plato, entre estos: cajas para 360 huevos (c360) y hueveras para 12 espacios (h12). De acuerdo con los cálculos una c360 tiene un peso aproximado de 472.5 g, mientras que para h12 es de 25.3 g. El peso promedio de los huevos obtenidos en la granja de estudio es de 60 g, y para las 1,800 toneladas de huevo que se produce por cada ciclo tiene una equivalencia aproximada de 30,000 huevos. Por lo tanto, se requieren 83 unidades de c360 y 2,500 piezas para h12 para empaquetar este ovoproducto en un periodo de 60 semanas. En la Tabla 21 se muestra el inventario de ciclo de vida (ICV) de la etapa de empaquetado de huevo.

Tabla 21. Inventario de ciclo de vida para la etapa de empaquetado de huevo.

Entradas conocidas desde la tecnosfera (materiales/combustibles)	Cantidad	Unidad	Descripción
Carton board box production, with gravure printing {ROW} carton board production servidem with gravure printing Alloc Def, U	39,375	kg	Caja para 360 huevos
Linerboard {ROW} production, kraftliner Alloc Def, U	63,455	kg	Huevera de 12 espacios

2.3.1.5. Fase de fin de vida

- Escenario de gestión de excreta

Para este apartado se realizaron cálculos de generación de excreta en base al peso de la ave según la edad (UAP, 2012; ULP GC, 2015), además de la estimación realizada por (Lon-Wo, 2003), en la que dice que 1000 gallinas ponedoras con 2 kg de peso promedio producen 115 L de desechos por día con un contenido de humedad de 70%. En la Tabla 22 se muestra el ICV para la generación de excretas por fase de producción.

Tabla 22. Inventario de ciclo de vida del escenario de fin de vida para excreta.

Entradas conocidas desde la tecnosfera (materiales/combustibles)	Cantidad	Unidad	Descripción	Peso del ave
Poultry manure, fresh {ROW} market for Alloc Def, U	102.971	kg	Cría de pollitas	0.45 kg
Poultry manure, fresh {ROW} market for Alloc Def, U	514.342	kg	Desarrollo de aves	1.35 kg
Poultry manure, fresh {ROW} market for Alloc Def, U	4,549.087	kg	Postura de huevo	1.70 kg

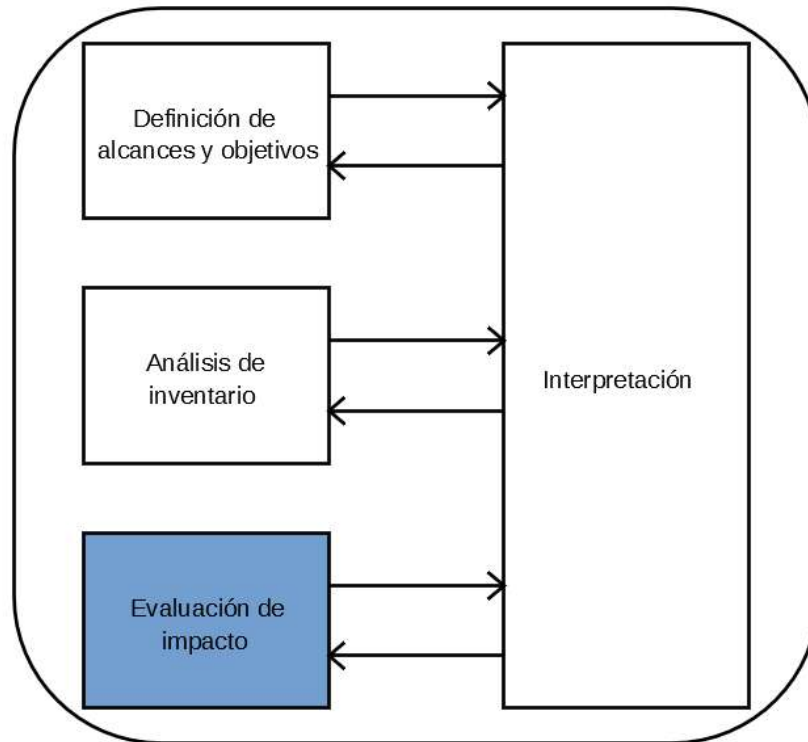
- Escenario de mortalidad

Como en el escenario de excreta, se consideró el peso del ave según la edad y el índice de mortalidad para cada fase en el ciclo de vida de la gallina productora. En la granja de estudio cada ciclo comienza con 96,000 pollitas. Para el caso de la cría se tiene un porcentaje de mortalidad de 1.30 %, la fase de desarrollo tiene una participación del 0.10 %, por último, para la postura de huevo se tiene una mortandad de 0.50 %. En la Tabla 23 se muestra el ICV para cada etapa de producción.

Tabla 23. Inventario de ciclo de vida para el escenario de mortalidad.

Entradas conocidas desde la tecnosfera (materiales/combustibles)	Cantidad	Unidad	Descripción	Peso del ave
Biowaste {MX} treatment of, composting Alloc Def, U	561.60	kg	Cría de pollitas	0.45 kg
Biowaste {MX} treatment of, composting Alloc Def, U	128.25	kg	Desarrollo de aves	1.35 kg
Biowaste {MX} treatment of, composting Alloc Def, U	756.80	kg	Postura de huevo	1.70 kg

2.4. Etapa de evaluación de impacto de ciclo de vida



El objetivo del ACV de este estudio fue evaluar el impacto ambiental de la producción de huevo para plato. Se describirán los resultados obtenidos de la evaluación de impacto del ciclo de vida.

2.4.1. Clasificación del impacto ambiental de la producción de huevo para plato.

De acuerdo con la norma ISO 14044:2006 los impactos deben ser clasificados, asignando los resultados del inventario de ciclo de vida a categorías de impacto ambiental de punto medio y/o final.

Se presentan las clasificaciones de impactos ambientales de este sistema-producto en la Tabla 24. Esta se llevó a cabo a partir del análisis de normalización del inventario de ciclo de vida a partir del método “*ReCiPe Midpoint (H) V1.13 World ReCiPe*”.

Tabla 24. Clasificación del impacto ambiental de la producción de huevo para plato.

Etapa de ACV	Inventario de ciclo de vida	Mecanismo ambiental	Categoría de impacto de punto medio
Cría	Alimento	Compuestos químicos persistentes hacia el agua, suelo y cadena alimenticia	Cambio de uso de suelo Cambio climático
Desarrollo	Electricidad	Emisiones de GEI	Cambio climático
Postura	Agua	Descarga de nutrientes (N y P) sobre acuíferos	Ecotoxicidad de agua fresca y marina
Empaque	Materiales utilizados	Emisión de compuestos en suelo	Agotamiento de recursos fósiles Cambio climático
Fin de vida	Mortalidad y excretas (Residuos sólidos)	Descarga de nutrientes en cuerpos de agua y suelo	Toxicidad humana

2.4.2. Caracterización del impacto ambiental de las fases de producción de huevo para plato.

Consiste en la evaluación de impacto del ciclo de vida, mediante la interpretación de resultados del inventario a impactos ambientales mediante factores y modelos para métodos de caracterización.

Se muestra el impacto global a través de ciclo de vida de la producción de huevo en la Figura 23. De acuerdo a los resultados obtenidos, la etapa de postura concentra el 79 % de la huella ambiental del sistema-producto.

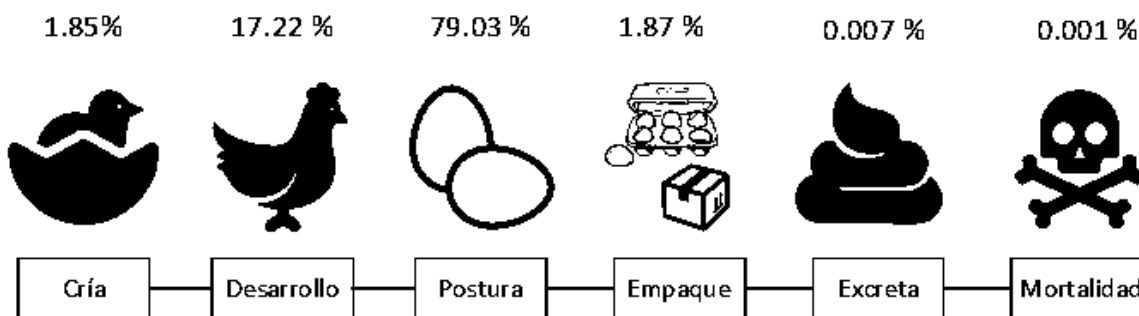


Figura 23. Impacto ambiental en las fases de producción de huevo para plato (Fuente: propia).

La distribución del impacto ambiental de las fases de producción de huevo para plato, se aprecia en la Figura 24. La etapa de postura representó más del 70% de la carga ambiental en todas las categorías de impacto, sin embargo, la categoría de ecotoxicidad terrestre aporta el mayor impacto. La fase de desarrollo tuvo más afinidad hacia la acidificación terrestre. Por último, la etapa de cría de pollitas tuvo un mayor impacto en agotamiento de ozono, además de presentar los menores impactos ambientales de todo el proceso. Para la fase de empacado se puede apreciar una contribución del 82 % para uso de suelo agrícola, y es que se requieren de ha de cultivo arbolado para la producción de cartón.

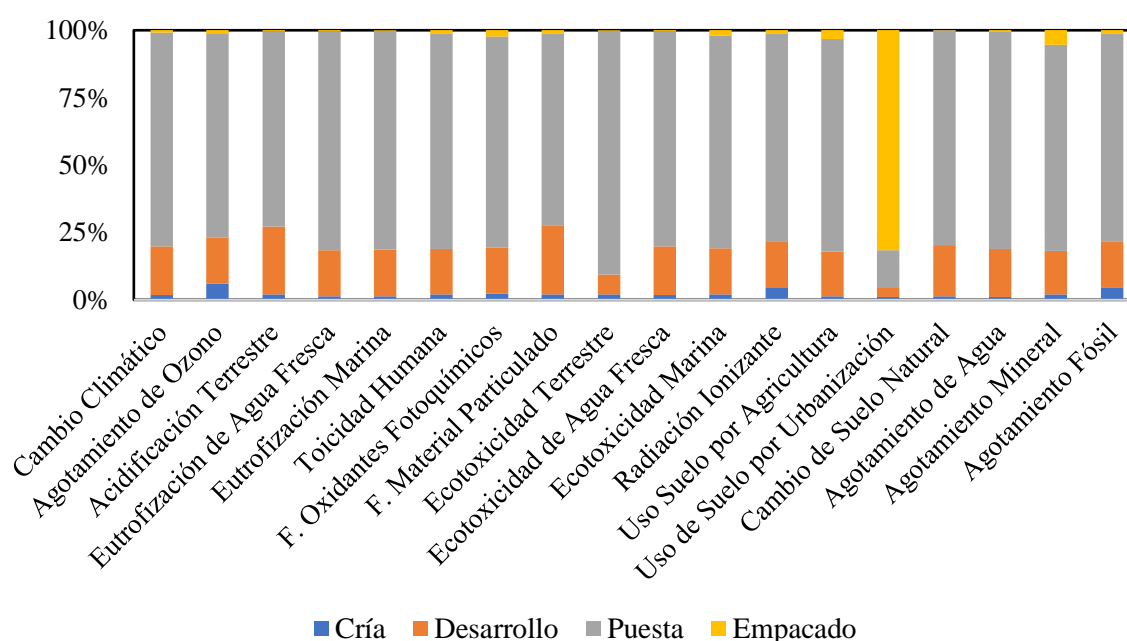


Figura 24. Distribución del impacto ambiental en las etapas de producción de huevo para plato de mayor impacto.

2.4.3. Impacto ambiental por categoría

Se describe lo obtenido de la evaluación del inventario del ciclo de vida por categoría de impacto. De acuerdo con (Goedkoop et al. 2013), los resultados se dividen en tres secciones de acuerdo el método ReCiPe:

- Impactos ambientales relacionados con la salud humana.
- Impactos ambientales sobre ecosistemas.
- Impactos ambientales sobre recursos.

2.4.4. Impactos ambientales relacionados con la salud humana

Entre los impactos ambientales relacionados con la salud humana se tienen: cambio climático, toxicidad humana, radiación ionizante, formación de oxidantes fotoquímicos, formación de material particulado y agotamiento de la capa de ozono.

A continuación, se presenta la descripción de los resultados de cada categoría de impacto hacia la salud.

2.4.4.1. Cambio climático

El cambio climático, o huella de carbono, de la producción de huevo para plato fue de 5.589 kg CO₂ eq/kg de huevo. Lo que equivale a 10,060.2 t CO₂ eq para el tiempo de residencia en función de la granja para el sistema-producto.

La Tabla 25, muestra la estimación de las emisiones de CO₂ eq por fase y proceso unitario de la producción de huevo. De acuerdo con los resultados obtenidos, la fase de postura concentra más del 80 % de la huella de carbono del sistema-producto, y el insumo con mayor contribución fue el alimento para todas las fases. El remanente es aquello que no entra en la clasificación de estudio de este análisis, además que por sí solo es complejo cuantificar, facilitando su evaluación como un conjunto.

Tabla 25. Potencial de contribución de cambio climático de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.

Fase Insumo	Cría (kg CO₂ eq/ kg huevo)	Desarrollo (kg CO₂ eq/kg huevo)	Postura (kg CO₂ eq/kg huevo)
Alimento	0.041	0.588	2.406
Electricidad	0.013	0.084	0.484
Gas L.P	0.005	-	-
Agua	0.002	0.020	0.096
Remantes	0.037	0.326	1.489
Total fase	0.096	1.018	4.475
Total proceso	5.589 kg CO ₂ eq/kg huevo		

El diagrama de contribución para la categoría de impacto de cambio climático, se muestra en la Figura 25.

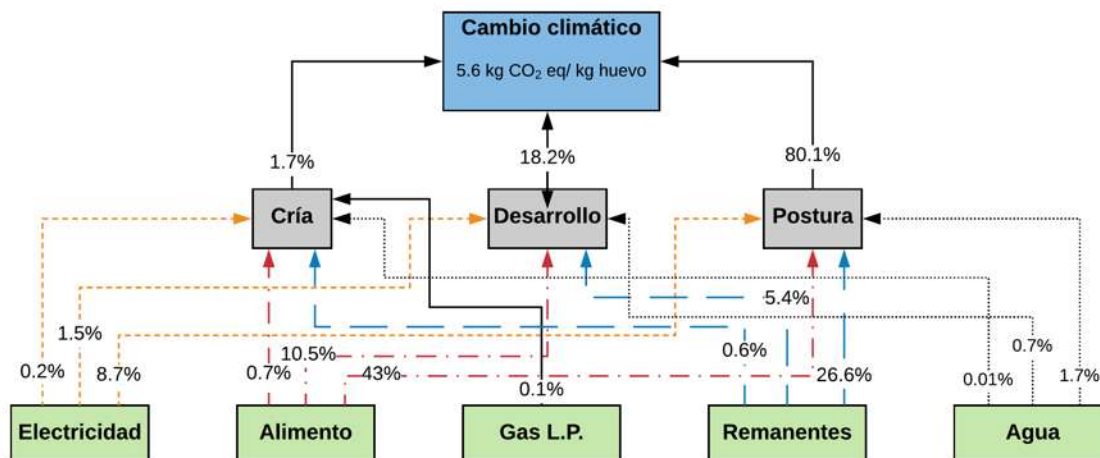


Figura 25. Contribución de la producción de huevo para plato al cambio climático.

2.4.4.2. Agotamiento de la capa de ozono

En este apartado se presenta la contribución del agotamiento de la capa de ozono para las fases de producción de huevo para plato (Tabla 26). El sistema-producto tiene un potencial de emisión de 3.578×10^{-7} kg CFC-11 eq /kg huevo durante el tiempo de residencia en producción. Para la etapa de cría, no se presentaron resultados por el consumo eléctrico ya que para esa fase se utiliza más combustible para calefacción.

Tabla 26. Potencial de contribución de la capa de ozono de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.

Fase Insumo	Cría (kg CFC-11 eq/kg huevo)	Desarrollo (kg CFC-11 eq/kg huevo)	Postura (kg CFC-11 eq/kg huevo)
Alimento	1.313×10^{-10}	1.050×10^{-9}	9.111×10^{-9}
Electricidad	-	5.721×10^{-8}	2.157×10^{-7}
Gas L.P	2.074×10^{-8}	-	-
Remantes	1.181×10^{-9}	3.150×10^{-9}	4.906×10^{-9}
Total fase	2.206×10^{-8}	6.141×10^{-8}	2.744×10^{-7}
Total proceso	3.578×10^{-7} kg CFC-11 eq/kg huevo		

En la Figura 26 se presenta el diagrama de contribución para la categoría de impacto de agotamiento de capa de ozono. De acuerdo con los resultados, el uso de energía ya sea eléctrico o de combustible es el responsable de los mayores impactos en esta categoría.

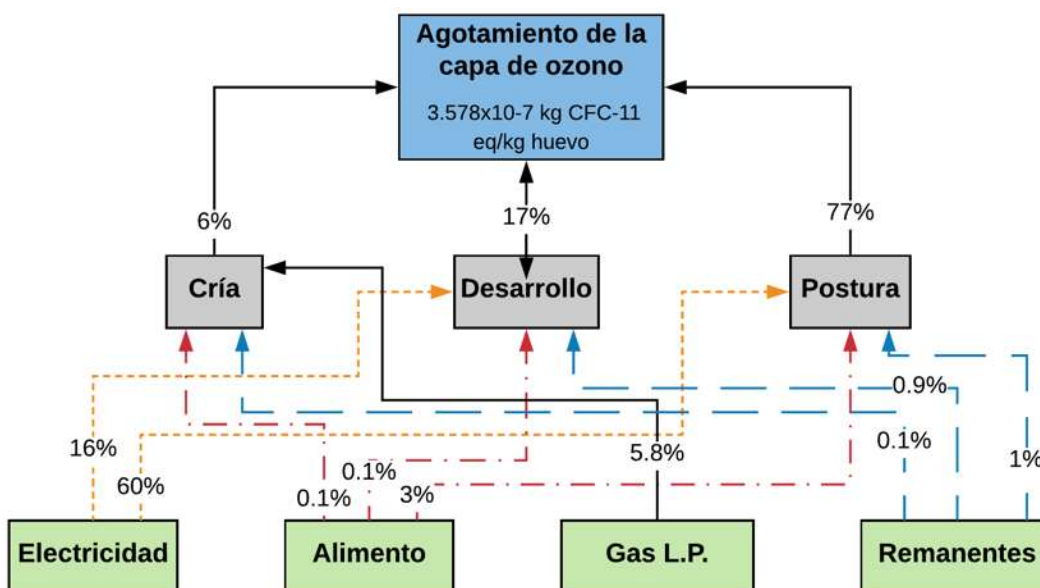


Figura 26. Contribución de la producción de huevo para plato al agotamiento de la capa de ozono.

2.4.4.3. Toxicidad humana

En la Tabla 27 se presenta una emisión total de 0.168 kg 1,4-DB eq (kilogramos de 1,4 dicloro-benceno) para la producción de huevo para plato en la categoría de toxicidad humana. La producción de alimento necesario para las dietas de las aves y el consumo energético, tienen una mayor aportación en el valor de este indicador. Sin embargo, en la granja la toxicidad humana es causada por las excretas de las aves ya que pueden liberar hidrocarburos aromáticos, los cuales su principal vía de absorción es respiratoria (INSSBT, 2016). Al inhalar estos compuestos se presentan síntomas de irritación de garganta, alergias en piel, hinchazón de ojos, entre otros (Ghasempour & Ahmadi, 2016).

Tabla 27. Potencial de contribución de la toxicidad humana de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.

Fase Insumo	Cría (1,4-DB eq/kg huevo)	Desarrollo (1,4-DB eq/kg huevo)	Postura (1,4-DB eq/kg huevo)
Alimento	0.0013	0.0151	0.0729
Electricidad	0.0002	0.0046	0.0202
Gas L.P	0.0003	-	-
Agua	0.0007	0.0015	0.0068
Remantes	0.0010	0.0073	0.0363
Total fase	0.0035	0.0285	0.1364
Total proceso	0.1685 kg 1,4-DB eq /kg huevo		

El diagrama de contribución de la producción de huevo para la categoría de toxicidad humana se muestra en la Figura 27.

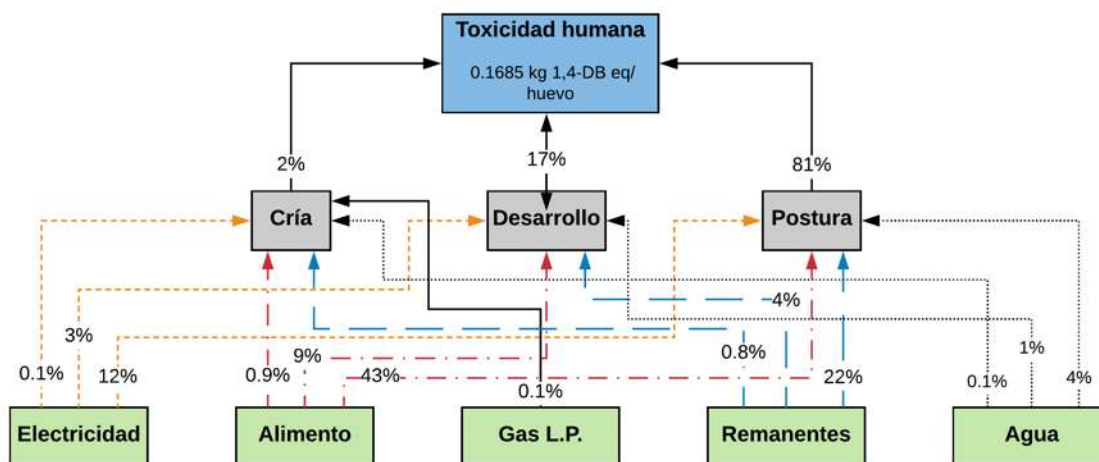


Figura 27. Contribución de la producción de huevo para plato al agotamiento de la toxicidad humana.

2.4.4.4. Formación de oxidantes fotoquímicos

El potencial de oxidación fotoquímica para producir un kg de huevo es de 0.0089 kg NMVOC/kg huevo (Compuestos orgánicos volátiles distintos del metano), como se presenta en la Tabla 28. El consumo de energía durante el proceso productivo cuenta con la mayor participación. Esta categoría de impacto es catalogada como la segunda más importante en cuanto a contaminación climática, también se conoce como smog (Ghasempour & Ahmadi, 2016). En la Figura 28 se muestra el diagrama de contribución para esta categoría de impacto en las fases de producción.

Tabla 28. Potencial de contribución de la formación de oxidantes fotoquímicos de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.

Fase Insumo	Cría (kg NMVOC/kg huevo)	Desarrollo (kg NMVOC/kg huevo)	Postura (kg NMVOC/kg huevo)
Alimento	-	2.855×10^{-5}	1.28×10^{-4}
Electricidad	7.142×10^{-6}	1.03×10^{-3}	4.69×10^{-3}
Gas L.P	1.40×10^{-4}	-	-
Agua	3.53×10^{-6}	4.131×10^{-4}	2.05×10^{-4}
Remantes	5.126×10^{-5}	4.60×10^{-4}	2.15×10^{-3}
Total fase	2.02×10^{-4}	1.56×10^{-3}	7.17×10^{-3}
Total proceso	8.94×10^{-3} kg NMVOC/kg huevo		

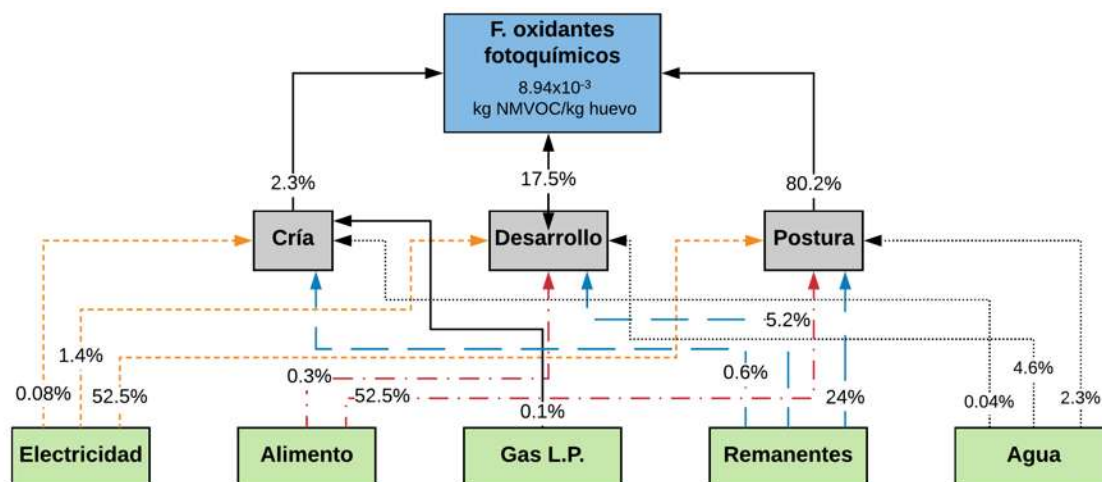


Figura 28. Contribución de la producción de huevo para plato al agotamiento de la formación de oxidantes fotoquímicos.

2.4.4.5. Formación de material particulado

De acuerdo con los resultados obtenidos en la evaluación de impacto, se estimó que en el ciclo de vida productivo para obtención de huevo se emiten 1.04×10^{-2} kg PM₁₀ (material particulado 10 μ m) eq/kg huevo en las fases de producción (Tabla 29). En los procesos avícolas típicos las emisiones de polvo o de partículas suspendidas pueden contener: material fecal seco, bacterias, endotoxinas, hongos, ácaros y demás. Sin embargo, las emisiones de PM dependen del clima, diseño de granja, consistencia de pienso, así como mecanismos de control (Poultry Science Association, 2009; C. M. Williams, 2011a). El diagrama de contribución para esta categoría de impacto se presenta en la Figura 29.

Tabla 29. Potencial de contribución de la formación de material particulado de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.

Fase Insumo	Cría (kg PM10 eq/kg huevo)	Desarrollo (kg PM10 eq/kg huevo)	Postura (kg PM10 eq/kg huevo)
Alimento	1.036×10^{-5}	2.10×10^{-4}	1.18×10^{-3}
Electricidad	4.903×10^{-6}	1.96×10^{-4}	1.40×10^{-3}
Gas L.P	3.416×10^{-5}	-	-
Aves	8.766×10^{-5}	1.67×10^{-3}	2.78×10^{-3}
Remanentes	7.161×10^{-5}	6.39×10^{-4}	2.15×10^{-3}
Total fase	2.09×10^{-4}	2.71×10^{-3}	7.51×10^{-3}
Total proceso	1.04×10^{-2} kg PM ₁₀ eq/kg huevo		

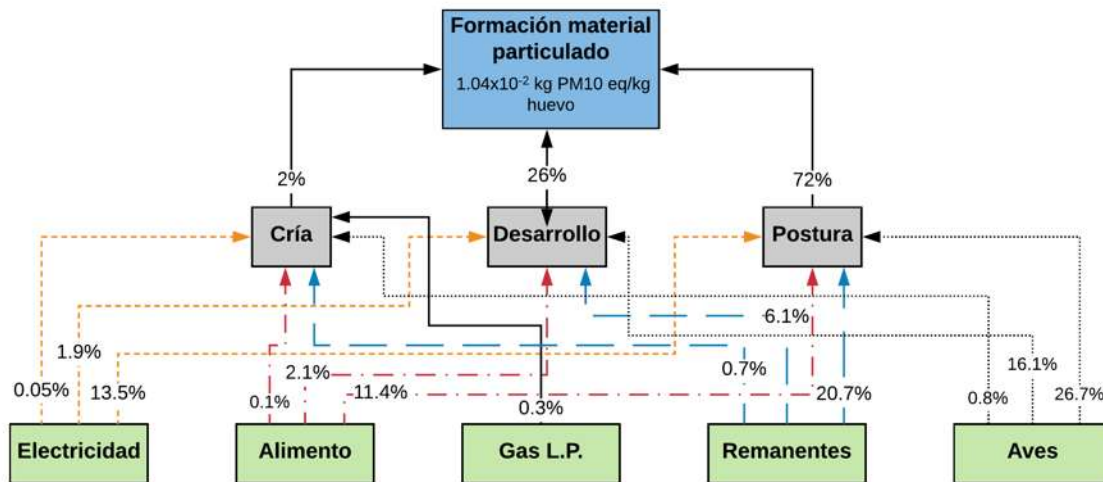


Figura 29. Contribución de la producción de huevo para plato al agotamiento de la formación de material particulado.

2.4.4.6. Radiación ionizante

De acuerdo con la evaluación de impacto para la categoría de radiación ionizante, el proceso para la obtención de huevo genera hasta 0.1886 kBq U235 eq (kilobecquerel de Uranio 235) /kg huevo (Tabla 30). La generación o uso de energía genera residuos por radiación que está compuesto por nucleídos radioactivos por encima de los niveles permitidos, su peligrosidad depende de la naturaleza y cantidad de nucleídos presentes (López, Oliveros, Rubio, & Suárez, 2010).

Tabla 30. Potencial de contribución de radiación ionizante de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.

Fase Insumo	Cría (kBq U235 eq/kg huevo)	Desarrollo (kBq U235 eq/kg huevo)	Postura (kBq U235 eq/kg huevo)
Electricidad	9.15×10^{-4}	1.47×10^{-2}	6.69×10^{-2}
Residuos radiactivos	7.08×10^{-3}	1.63×10^{-2}	7.22×10^{-2}
Remantes	4.5×10^{-4}	1.71×10^{-3}	8.28×10^{-3}
Total fase	8.44×10^{-3}	3.27×10^{-2}	1.47×10^{-1}
Total proceso	1.89×10^{-1} kBq U235 eq/kg huevo		

En la Figura 30 se presenta el diagrama de contribución para esta categoría de impacto.

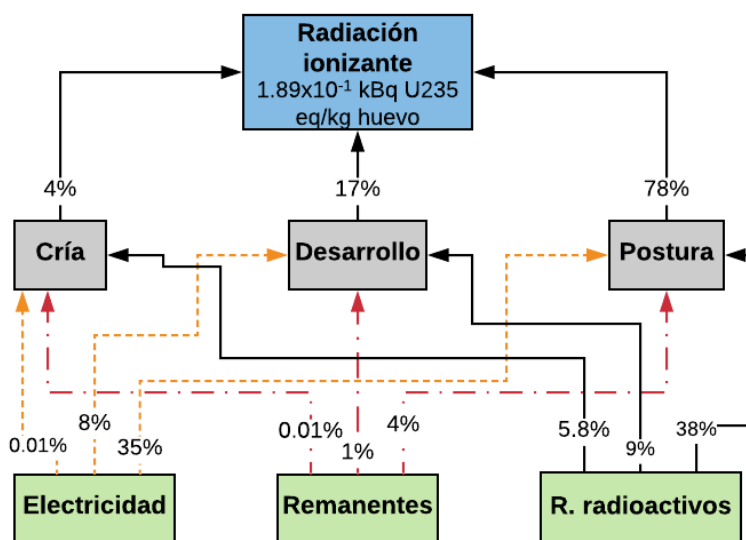


Figura 30. Contribución de la producción de huevo para plato al agotamiento de radiación ionizante.

2.4.5. Impactos ambientales sobre ecosistemas

Los impactos ambientales que impactan en los ecosistemas están relacionados con el agotamiento de suelo y agua, derivado del impacto de sustancias químicas como lo son: metales pesados, nutrientes, ácidos, bases, entre otros. La acidificación, eutrofización y ecotoxicidad son impactos que entran en esta categoría (Hans, 2015).

A continuación, se describe cada una de las categorías de impacto y su análisis de contribución hacia ecosistemas.

2.4.5.1. Acidificación terrestre

El sistema-producto para producción de huevo presenta una acidificación terrestre de 5.36×10^{-2} 9 kg de SO₂ eq (kg de dióxido de azufre equivalentes) /kg huevo, que se muestra en la Tabla 31. La producción de alimento es la variable de mayor impacto en esta categoría. La Figura 31 presenta la contribución de impactos para cada etapa del sistema-producto.

Tabla 31. Potencial de contribución de acidificación terrestre de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.

Fase Insumo	Cría (kg de SO ₂ eq/kg huevo)	Desarrollo (kg de SO ₂ eq/kg huevo)	Postura (kg de SO ₂ eq/kg huevo)
Alimento	2.09×10^{-4}	2.58×10^{-3}	1.82×10^{-2}
Electricidad	2.88×10^{-5}	2.26×10^{-4}	1.07×10^{-3}
Gas L.P	5.66×10^{-5}	-	-

Aves	5.12×10^{-4}	7.72×10^{-3}	1.05×10^{-2}
Remantes	2.914×10^{-4}	3.03×10^{-3}	9.19×10^{-3}
Total fase	1.1×10^{-3}	1.36×10^{-2}	3.89×10^{-2}
Total proceso	5.36×10^{-2} kg de SO ₂ eq/kg huevo		

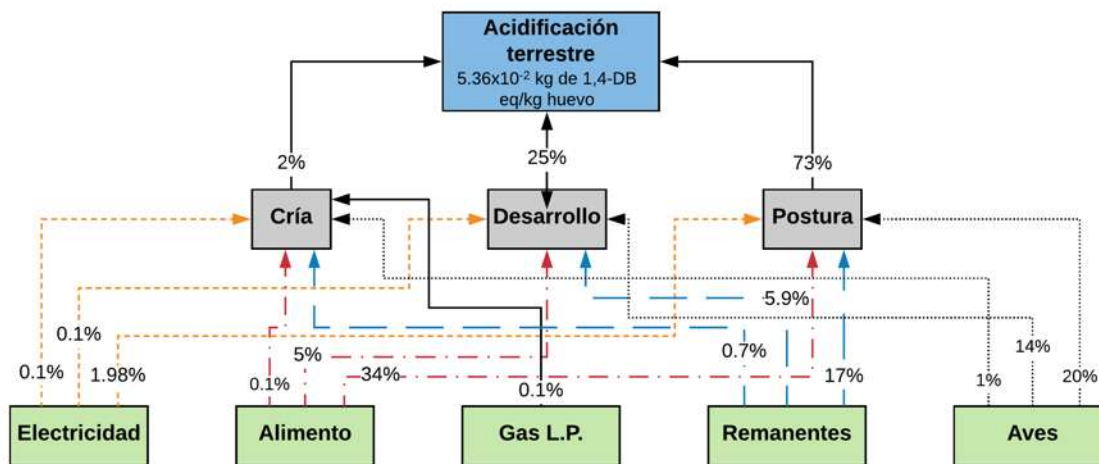


Figura 31. Contribución de impacto para la producción de huevo para plato en acidificación terrestre.

2.4.5.2. Eutrofización marina

La producción de huevo tiene una contribución de 2.48×10^{-2} kg de N eq (kg de Nitrógeno equivalentes) /kg huevo. Para esta categoría de impacto en el actual sistema-producto, el alimento es la variable que contribuye su contaminación. La Tabla 32 muestra el potencial de eutrofización marina para las fases de producción. El diagrama de contribución se presenta en la Figura 32.

Tabla 32. Potencial de contribución de eutrofización marina de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.

Fase Insumo	Cría (kg de N eq/kg huevo)	Desarrollo (kg de N eq/kg huevo)	Postura (kg de N eq/kg huevo)
Alimento	2.99×10^{-4}	3.71×10^{-3}	1.66×10^{-2}
Remanentes	5.57×10^{-5}	5.65×10^{-4}	3.53×10^{-3}
Total fase	3.55×10^{-4}	4.28×10^{-3}	2.02×10^{-2}
Total proceso	2.48×10^{-2} kg de N eq/kg huevo		

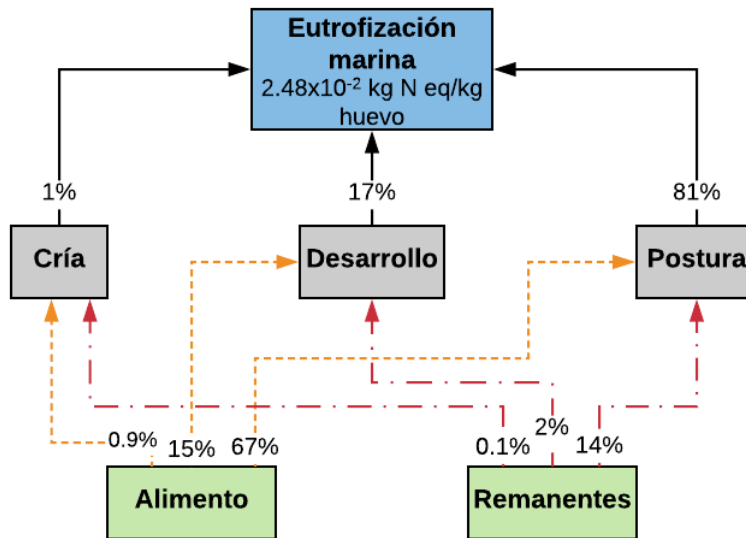


Figura 32. Contribución de impacto para la producción de huevo para plato en eutrofización marina.

2.4.5.3. Eutrofización de agua fresca

Para esta categoría de impacto se determinó una emisión de 6.49×10^{-4} kg de P eq (kg de Fósforo equivalentes) /kg huevo (Tabla 33). Al igual que la eutrofización marina, el alimento es la variable que aporta este tipo de impacto. En la Figura 33 se muestra el diagrama de contribución para esta categoría de impacto.

Tabla 33. Potencial de contribución de eutrofización de agua fresca de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.

Fase Insumo	Cría (kg de N eq/kg huevo)	Desarrollo (kg de N eq/kg huevo)	Postura (kg de N eq/kg huevo)
Alimento	7.83×10^{-6}	9.68×10^{-5}	4.6×10^{-4}
Remanentes	1.24×10^{-6}	1.41×10^{-5}	6.93×10^{-5}
Total fase	9.1×10^{-6}	1.11×10^{-4}	5.29×10^{-4}
Total proceso	6.49×10^{-4} kg de P eq/kg huevo		

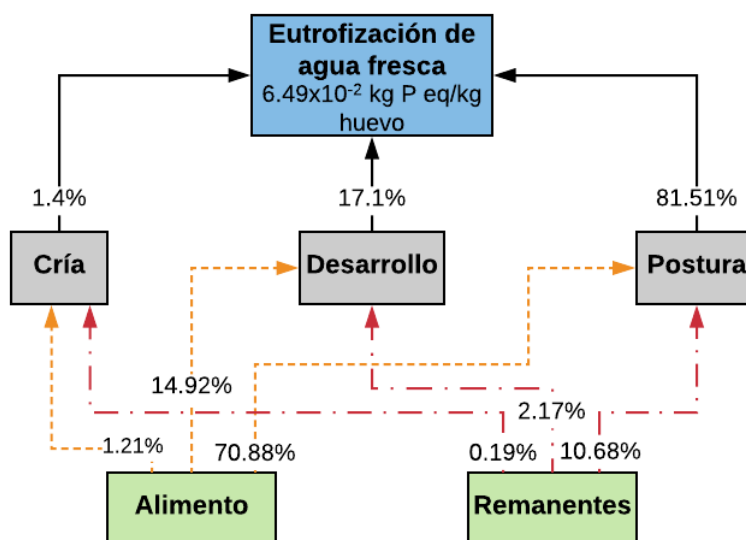


Figura 33. Contribución de impacto para la producción de huevo para plato en eutrofización de agua fresca.

2.4.5.4. Ecotoxicidad terrestre

Para esta categoría de impacto se determinó un potencial de emisión hacia el suelo de 8.53×10^{-2} kg de 1,4-DB eq/ kg huevo, siendo el alimento la contribución de mayor aporte para esta categoría de impacto ambiental. En la Tabla 34 se presenta el potencial de ecotoxicidad terrestre. La Figura 34 muestra el diagrama de contribución.

Tabla 34. Potencial de contribución de ecotoxicidad terrestre de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.

Fase Proceso	Cría (kg de 1,4-DB eq/kg huevo)	Desarrollo (kg de 1,4-DB eq/kg huevo)	Postura (kg de 1,4-DB eq/kg huevo)
Alimento	1.56×10^{-3}	6.02×10^{-3}	6.19×10^{-2}
Remanentes	1.26×10^{-4}	3.98×10^{-4}	4.12×10^{-3}
Total fase	1.68×10^{-3}	6.42×10^{-3}	6.6×10^{-2}
Total proceso	8.53×10^{-2} kg de 1,4-DB eq/kg huevo		

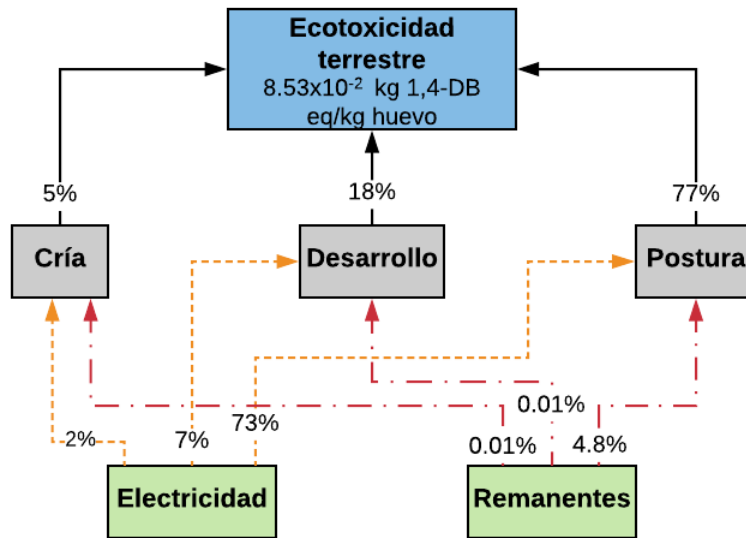


Figura 34. Contribución de impacto para la producción de huevo para plato en ecotoxicidad terrestre.

2.4.5.5. *Ecotoxicidad de agua fresca*

De acuerdo con el análisis para la producción de huevo, existe una emisión de 2.7×10^{-2} kg 1,4-DB eq, que como en los impactos anteriores se atribuye a la demanda de alimento (Tabla 35). En la Figura 35 se muestra el diagrama de contribución para cada fase en la producción de huevo.

Tabla 35. Potencial de contribución de ecotoxicidad de agua fresca de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.

Fase	Cría (kg de 1,4-DB eq/kg huevo)	Desarrollo (kg de 1,4-DB eq/kg huevo)	Postura (kg de 1,4-DB eq/kg huevo)
Insumo			
Alimento	4.29×10^{-4}	4.28×10^{-3}	1.93×10^{-2}
Remanentes	5.93×10^{-5}	5.86×10^{-4}	2.38×10^{-3}
Total fase	4.89×10^{-4}	4.86×10^{-3}	2.17×10^{-2}
Total proceso	2.7×10^{-2} kg de 1,4-DB eq/kg huevo		

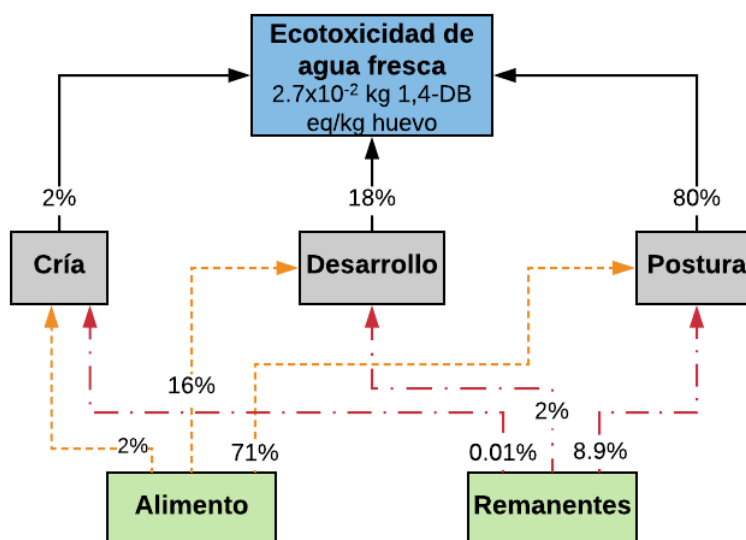


Figura 35. Contribución de impacto para la producción de huevo para plato en ecotoxicidad de agua fresca.

2.4.5.6. Ecotoxicidad marina

La evaluación de impacto ambiental demostró que para esta categoría hay una contribución de 3.81×10^{-3} kg de 1,4-DB eq / kg huevo, en la Tabla 36 se muestra el aporte de alimento para cada fase del ciclo de vida de la gallina ponedora. El diagrama de contribución presenta que la postura es la etapa de mayor impacto ambiental (Figura 36).

Tabla 36. Potencial de contribución de ecotoxicidad marina de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.

Fase Insumo	Cría (kg de 1,4-DB eq/kg huevo)	Desarrollo (kg de 1,4-DB eq/kg huevo)	Postura (kg de 1,4-DB eq/kg huevo)
Alimento	6.25×10^{-5}	4.33×10^{-4}	1.97×10^{-3}
Combustible	1.58×10^{-6}	-	-
Electricidad	-	6.29×10^{-5}	2.6×10^{-4}
Agua	-	2.55×10^{-5}	1.13×10^{-4}
Remanentes	1.79×10^{-5}	5.86×10^{-4}	7.21×10^{-4}
Total fase	8.2×10^{-5}	1.11×10^{-3}	3.07×10^{-3}
Total proceso	3.81×10^{-3} kg de 1,4-DB eq/kg huevo		

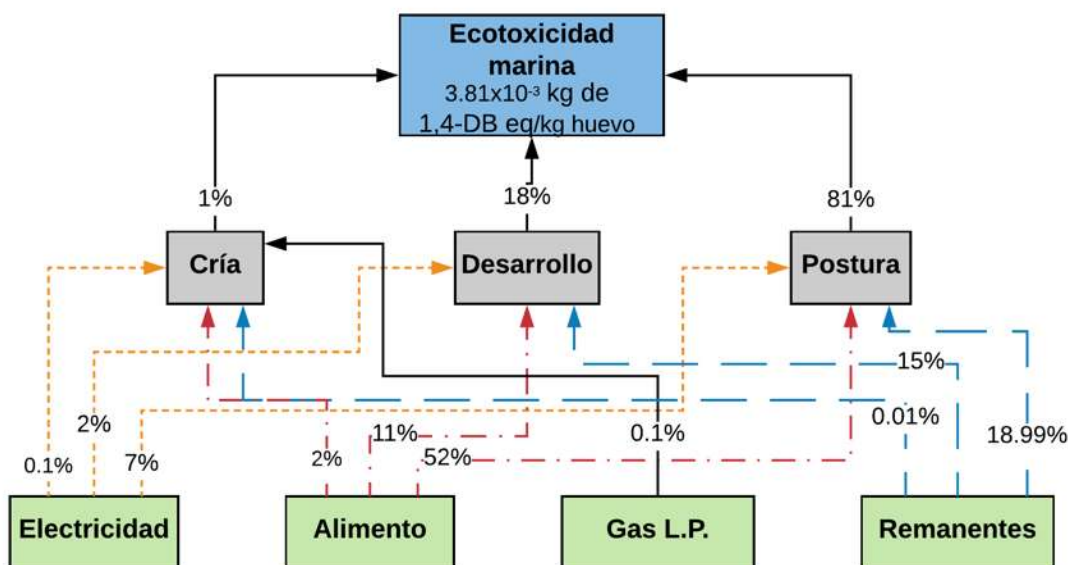


Figura 36. Contribución de impacto para la producción de huevo para plato en ecotoxicidad marina

2.4.6. Impactos ambientales sobre los recursos naturales.

Estos impactos se encuentran asociados al cambio de uso de suelo, agotamiento de recursos como minerales y fósiles. El efecto de estas categorías está relacionado con la demanda energética y de recursos materiales como alimento y agua.

A continuación, se describe el impacto ambiental sobre recursos naturales, así como su diagrama de contribución.

2.4.6.1. Cambio de suelo por agricultura

Para la producción de huevo para plato en el uso de suelo agrícola se requiere de un total de 5.22 m²a/kg huevo, siendo la postura la etapa de mayor impacto, como se muestra en la Tabla 37). Esta categoría se relaciona con la producción de semillas necesarias para producir la dieta de las gallinas ponedoras. En la Figura 37 se muestra la contribución de este impacto.

Tabla 37. Potencial de contribución de cambio de uso de suelo por agricultura de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.

Fase	Cría (m ² a/kg huevo)	Desarrollo (m ² a/kg huevo)	Postura (m ² a/kg huevo)
Insumo			
Alimento	0.06	0.77	3.63
Remanentes	0.01	0.11	0.62
Total fase	0.07	0.88	4.25
Total proceso		5.22 m ² a/kg huevo	

m²a: metro cuadrado por año

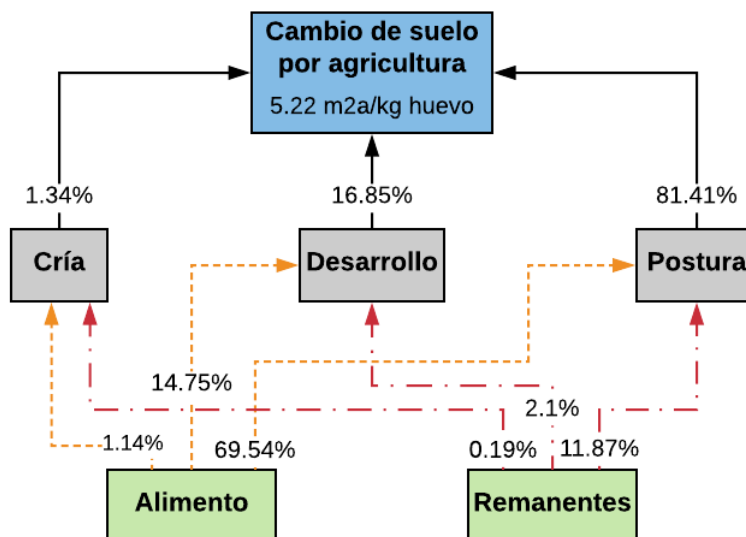


Figura 37. Contribución de impacto para la producción de huevo para plato en cambio de suelo por agricultura.

2.4.6.2. Cambio de uso de suelo por urbanización

El uso de suelo urbano, por otro lado, presenta una ocupación de $3.05 \times 10^{-4} \text{ m}^2\text{a/kg huevo}$, el cual se asocia para materiales de construcción y mantenimiento de las granjas. En la Tabla 38 se muestra la aportación para esta categoría de impacto. La contribución del impacto de cambio uso de suelo se presenta en la Figura 38.

Tabla 38. Potencial de contribución de cambio de uso de suelo por urbanización de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.

Fase	Cría ($\text{m}^2\text{a/kg huevo}$)	Desarrollo ($\text{m}^2\text{a/kg huevo}$)	Postura ($\text{m}^2\text{a/kg huevo}$)
Insumo			
Materiales	1.34×10^{-5}	4.85×10^{-5}	2.02×10^{-4}
Remanentes	2.48×10^{-6}	7.76×10^{-6}	3.09×10^{-5}
Total fase	1.59×10^{-5}	5.61×10^{-5}	2.33×10^{-4}
Total proceso	$3.05 \times 10^{-4} \text{ m}^2\text{a/kg huevo}$		

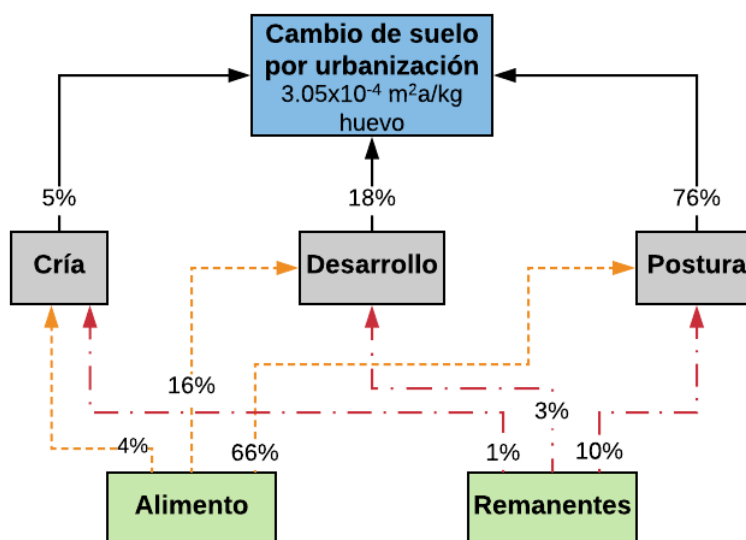


Figura 38. Contribución de impacto para la producción de huevo para plato en cambio de suelo por urbanización.

2.4.6.3. Cambio de uso de suelo natural

Esta categoría de impacto, a diferencia de las dos anteriores, presenta una menor aportación de impacto en relación a la disposición de terreno con $0.054 \text{ m}^2/\text{kg}$ huevo. La mayor contribución del impacto actual se atribuye al alimento empleado en el pienso de las aves (Tabla 39). En la Figura 39 se muestran las proporciones de contribución de cambio de uso de suelo natural.

Tabla 39. Potencial de contribución de cambio de uso de suelo natural de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.

Fase	Cría (m^2/kg huevo)	Desarrollo (m^2/kg huevo)	Postura (m^2/kg huevo)
Insumo			
Alimento	6.48×10^{-4}	9.82×10^{-3}	0.042
Remanentes	2.12×10^{-5}	4.26×10^{-4}	1.25×10^{-3}
Total fase	7.62×10^{-4}	0.01	0.043
Total proceso		$0.054 \text{ m}^2/\text{kg}$ huevo	

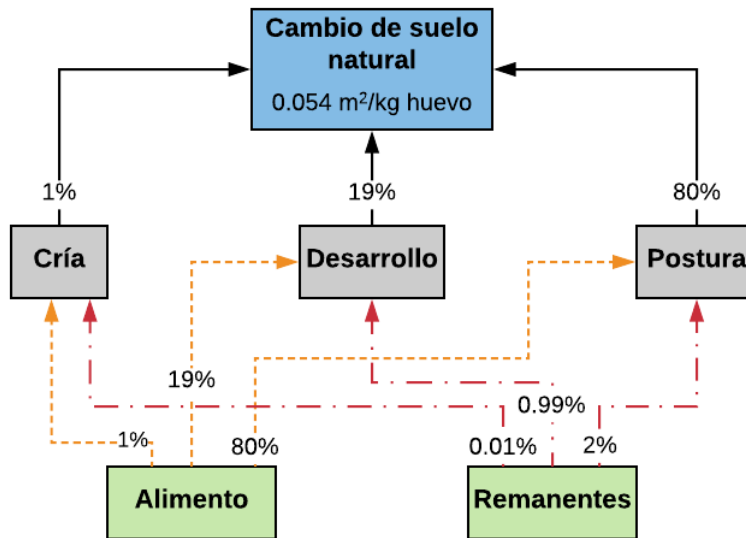


Figura 39. Contribución de impacto para la producción de huevo para plato en cambio de suelo natural.

2.4.6.4. Agotamiento de agua

Como la mayoría de los impactos ambientales, el alimento es la variable que mayor impacto genera en el sistema-producto en las categorías de impacto. Para este caso se tiene una contribución para la escasez de agua de $0.78 \text{ m}^3/\text{kg}$ huevo, siendo el alimento el causante de la mayor contribución (Tabla 40). El diagrama de contribución se presenta en la Figura 40.

Tabla 40. Potencial de contribución de agotamiento de agua de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.

Fase Insumo	Cría (m^3/kg huevo)	Desarrollo (m^3/kg huevo)	Postura (m^3/kg huevo)
Alimento	2.65×10^{-4}	1.07×10^{-2}	4.76×10^{-2}
Gas L.P.	1.52×10^{-4}	-	-
Electricidad	8.33×10^{-5}	3.35×10^{-4}	1.5×10^{-3}
Agua	6.36×10^{-5}	1.44×10^{-3}	7.57×10^{-3}
Remanentes	2.08×10^{-5}	1.45×10^{-3}	6.53×10^{-3}
Total fase	9.13×10^{-4}	1.39×10^{-2}	0.063
Total proceso	$0.078 \text{ m}^3/\text{kg}$ huevo		

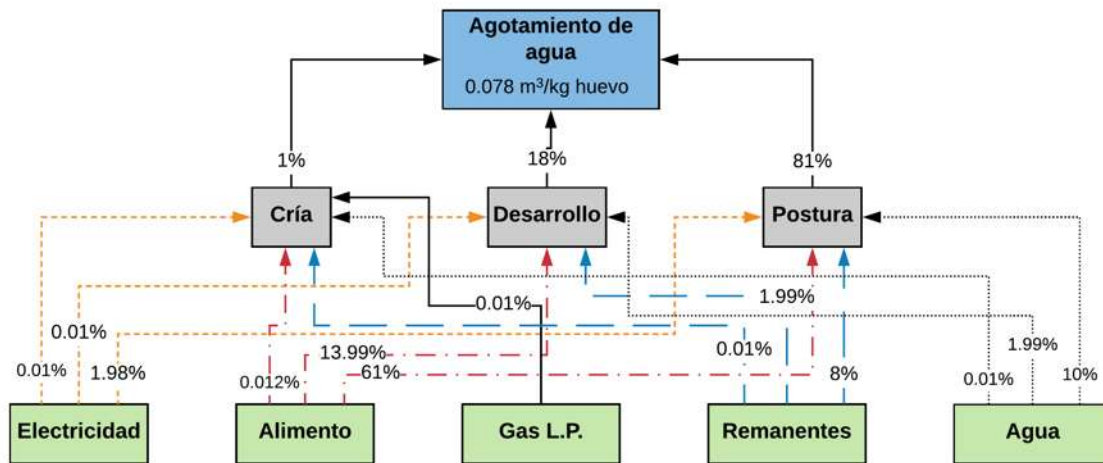


Figura 40. Contribución de impacto para la producción de huevo para plato en agotamiento de agua.

2.4.6.5. Agotamiento de recursos minerales

La producción de huevo para plato tiene una demanda de recursos minerales aproximadamente de 4.81×10^{-3} kg Fe eq (kg de hierro equivalente) /kg de huevo, la cual se puede mostrar en la Tabla 41 para cada etapa del proceso. Este tipo de agotamiento se da por la degradación del suelo por el cambio de uso, principalmente por la agricultura. Su contribución se observa en la Figura 41.

Tabla 41. Potencial de contribución de agotamiento de recursos minerales de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.

Fase Insumo	Cría (kg Fe eq/kg huevo)	Desarrollo (kg Fe eq/kg huevo)	Postura (kg Fe eq/kg huevo)
Materiales	8.26×10^{-5}	7.23×10^{-4}	3.44×10^{-3}
Remanentes	1.94×10^{-5}	9.7×10^{-5}	4.48×10^{-4}
Total fase	1.02×10^{-4}	8.2×10^{-4}	3.89×10^{-3}
Total proceso	4.81×10^{-3} kg Fe eq/kg huevo		

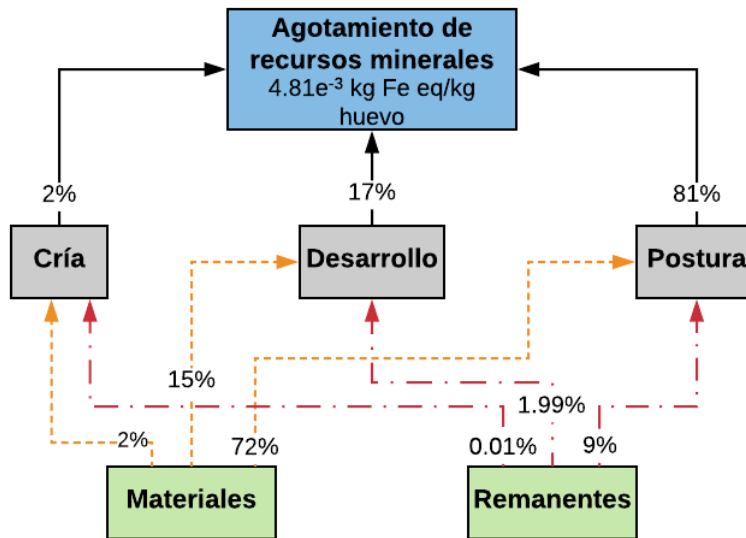


Figura 41. Contribución de impacto para la producción de huevo para plato en agotamiento de recursos minerales.

2.4.6.6. Agotamiento de recursos fósiles

La producción de huevo para plato tiene una contribución en el gasto de recursos fósiles de 0.94 kg petróleo crudo eq (equivalente)/kg huevo, siendo el gasto energético la variable aportación del impacto ambiental. En la Tabla 42 se muestran las emisiones por fase de producción.

Tabla 42. Potencial de contribución de agotamiento de recursos fósiles de las fases y procesos unitarios producción de huevo para plato.

Fase Insumo	Cría (kg petróleo crudo eq/kg huevo)	Desarrollo (kg petróleo crudo eq/kg huevo)	Postura (kg petróleo crudo eq/kg huevo)
Electricidad	9.01×10^{-4}	0.13	0.59
Gas L.P	0.038	-	-
Remanentes	0.006	0.03	0.14
Total fase	0.045	0.16	0.74
Total proceso	0.94 kg kg petróleo crudo eq/kg huevo		

La gráfica de contribución muestra que para la fase cría el consumo eléctrico es menor que el de combustible, esto porque durante los primeros días de vida de las pollitas se requiere de una mayor demanda energética para mantener sus condiciones ideales (Figura 42).

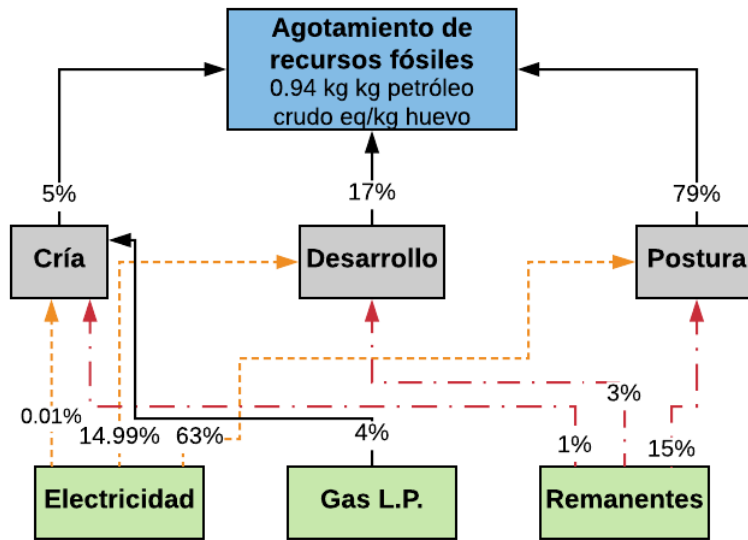
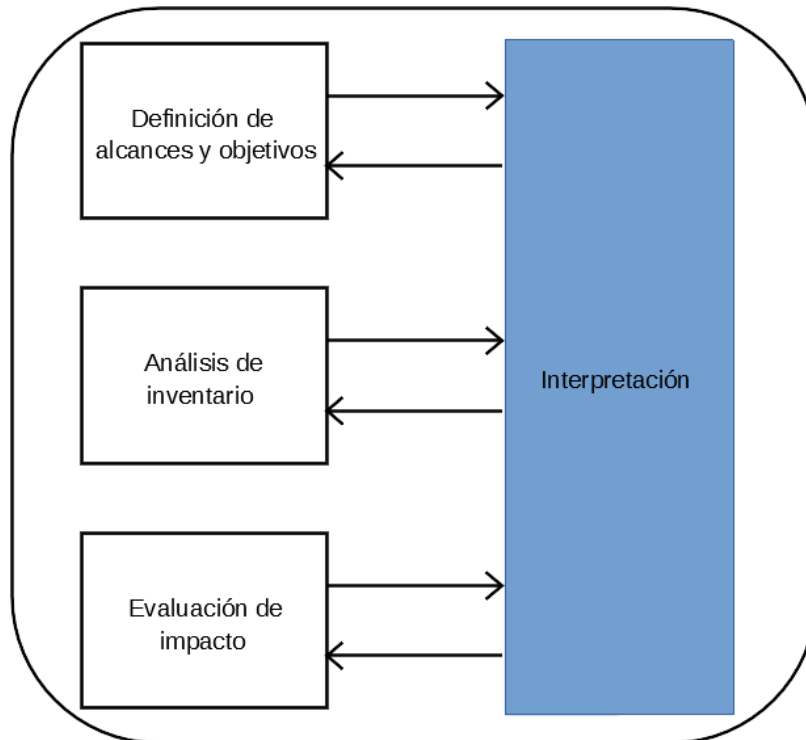


Figura 42. Contribución de impacto para la producción de huevo para plato en agotamiento de recursos fósiles.

2.5. Interpretación del impacto del ciclo de vida



Los resultados reportados en este análisis de impacto ambiental es una primera evaluación del ciclo de vida de la producción de huevo para plato en las fases de cría de pollitas, desarrollo de aves, postura de huevo y empaque del ovoproducto. De acuerdo con los datos, suposiciones, criterios de asignación, así como los límites del sistema, el gasto de alimento en las fases del ciclo de vida de la gallina ponedora tuvo la mayor contribución del impacto ambiental en todo el sistema-producto.

A continuación, se discutirá la importancia de las variables más representativas sobre el impacto ambiental, además se analizará su relevancia a través de un análisis de incertidumbre, lo que permitirá presentar conclusiones, recomendaciones y limitaciones del ACV analizado.

2.5.1. Identificación de aspectos significativos sobre el impacto ambiental en el ciclo de vida de la gallina ponedora.

El inventario de ciclo de vida mostro que la etapa de postura concentró el mayor impacto ambiental de la producción de huevo en el ciclo de vida de una gallina ponedora, seguido del desarrollo de aves y la cría de pollitas. Siendo la categoría de cambio climático la que presentó un impacto superior en comparación con las demás.

En la Tabla 43 se presentan las variables de contribución en relación a los impactos ambientales del ciclo de vida del sistema-producto de la granja “Laguna Colorada”, identificando que el gasto de alimento (“*Compound feed broilers/NL Mass MX Lq*”) y energía (“*Electricity, medium voltaje {MX} electricity voltage transformation from high to medium voltage | Alloc Def, U*”), tuvieron la mayor contribución de acuerdo a la evaluación ambiental global por categoría de impacto en la producción de huevo para plato.

Tabla 43. Impactos del ciclo de vida de la producción de huevo para plato de las mayores variables de contribución (Fuente: propia).

Inventario de ciclo de vida	Categoría de impacto	Abreviación	Etapas del ACV	Insumo	Contribución de impacto ambiental (% contribución)
<i>Compound feed broilers/NL Mass MX Lq</i>	Cambio climático	CC	Postura	Alimento	4.4 kg CO2 eq (80%)
<i>Electricity, medium voltaje {MX} electricity voltage transformation from high to medium voltage Alloc Def, U</i>	Agotamiento de la capa de ozono	AO	Postura	Electricidad	2.744x10 ⁻⁷ kg CFC-11 eq (76.69 %)
<i>Compound feed broilers/NL Mass MX Lq</i>	Toxicidad humana	TH	Postura	Alimento	0.136 kg 1,4-DB eq (80.94 %)
<i>Electricity, medium voltaje {MX} electricity voltage transformation from high to medium voltage Alloc Def, U</i>	Formación de oxidantes fotoquímicos	FOF	Postura	Electricidad	7.17x10 ⁻³ kg NMVOC (80.2 %)
<i>Laying hens > 17 weeks, breeding, at farm/NL Mass MX Lq</i>	Formación de material particulado	FMP	Postura	aves	7.51x10 ⁻³ kg PM10 eq (72.21 %)

<i>Electricity, medium voltage {MX} electricity voltage transformation from high to medium voltage Alloc Def, U</i>	Radiación ionizante	RI	Postura	Electricidad	1.47x10 ⁻¹ kBq U235 eq (77.77 %)
<i>Compound feed broilers/NL Mass MX Lq</i>	Acidificación terrestre	AT	Postura	Alimento	3.89x10 ⁻² kg de SO ₂ eq (72.57 %)
<i>Compound feed broilers/NL Mass MX Lq</i>	Eutrofización marina	EM	Postura	Alimento	2.02x10 ⁻² kg de N eq (81.45 %)
<i>Compound feed broilers/NL Mass MX Lq</i>	Eutrofización de agua fresca	EAF	Postura	Alimento	5.29x10 ⁻⁴ kg de P eq (81.51 %)
<i>Compound feed broilers/NL Mass MX Lq</i>	Ecotoxicidad terrestre	ECT	Postura	Alimento	6.6x10 ⁻² kg de 1,4-DB eq (77.37 %)
<i>Compound feed broilers/NL Mass MX Lq</i>	Ecotoxicidad de agua fresca	ECAF	Postura	Alimento	2.17x10 ⁻² kg de 1,4-DB eq (80.37 %)
<i>Compound feed broilers/NL Mass MX Lq</i>	Ecotoxicidad marina	ECM	Postura	Alimento	3.07x10 ⁻³ kg de 1,4-DB eq (80.57 %)
<i>Compound feed broilers/NL Mass MX Lq</i>	Uso de suelo agrícola	USA	Postura	Alimento	4.2 m ² a (81.41 %)
<i>Compound feed broilers/NL Mass MX Lq</i>	Uso de suelo por urbanización	USU	Postura	Alimento	2.33x10 ⁻⁴ m ² a (76.49 %)
<i>Compound feed broilers/NL Mass MX Lq</i>	Uso de suelo natural	USTN	Postura	Alimento	0.043 m ² (79.62 %)
<i>Compound feed broilers/NL Mass MX Lq</i>	Agotamiento de agua	AA	Postura	Alimento	0.063 m ³ (80.76 %)
<i>Compound feed broilers/NL Mass MX Lq</i>	Agotamiento de recursos minerales	AM	Postura	Alimento	3.89x10 ⁻³ kg Fe eq (80.87 %)
<i>Electricity, medium voltage {MX} electricity voltage transformation from high to medium voltage Alloc Def, U</i>	Agotamiento de recursos fósiles	AF	Postura	Electricidad	0.74 kg petróleo crudo eq (78.72 %)

Elaboración a partir del análisis de contribución. Método ReCiPe Midpoint (H) V 1.13 World ReCiPe H
 Criterio de cohorte: 1 %
 Agri-footprint
 Ecoinvent 3.0

2.5.2. Evaluación ambiental para la etapa de empaqueo de huevo para plato.

El ICV de esta etapa posterior a la postura de huevo presentó que la producción de hueveras h12 para el empaque del ovoproducto tiene un mayor impacto ambiental, a diferencia de las cajas c360. Lo anterior debido a la cantidad de unidades que se requieren para empaquetar el producto, identificando que la categoría de uso de suelo por agricultura es la de mayor participación por cada kg de cartón producido. En la Tabla 44 se muestra la contribución ambiental de la etapa de empaque para cada categoría de impacto.

Tabla 44. Impacto ambiental para la etapa de empaqueo de huevo.

Categoría de impacto	Unidad	Caja para 360 huevos	Huevera para 12 espacios	Total
CC	kg CO ₂ eq	1.52 x10 ⁻²	3.19E x10 ⁻²	4.71 x10 ⁻²
AO	kg CFC-11 eq	1.47 x10 ⁻⁹	2.81 x10 ⁻⁹	4.28 x10 ⁻⁹
TH	kg PM<10um eq	6.92 x10 ⁻⁵	1.78 x10 ⁻⁴	2.47 x10 ⁻⁴
FOF	kg NMVOC	8.00 x10 ⁻⁷	2.28 x10 ⁻⁶	3.08 x10 ⁻⁶
FMP	kg 1,4-DB eq	4.71 x10 ⁻⁶	2.05 x10 ⁻⁵	2.52 x10 ⁻⁵
RI	kBq U ₂₃₅ eq	5.35 x10 ⁻⁴	1.94 x10 ⁻³	2.48 x10 ⁻³
AT	kg SO ₂ eq	4.36 x10 ⁻⁵	1.60 x10 ⁻⁴	2.04 x10 ⁻⁴
EM	kg 1,4-DB eq	4.26 x10 ⁻⁵	1.05 x10 ⁻⁴	1.47 x10 ⁻⁴
EAF	kg 1,4-DB eq	2.59 x10 ⁻⁵	1.38 x10 ⁻⁴	1.64 x10 ⁻⁴
ECT	kg 1,4-DB eq	5.34 x10 ⁻⁵	5.28 x10 ⁻⁵	1.06 x10 ⁻⁴
ECAF	kg P eq	4.56 x10 ⁻⁶	3.07 x10 ⁻⁵	7.63 x10 ⁻⁵
ECM	kg N eq	8.87 x10 ⁻⁴	1.57 x10 ⁻³	2.46 x10 ⁻³
USA	m ²	1.90E-03	1.67 x10 ⁻¹	1.69 x10 ⁻¹
USU	m ² a	7.11 x10 ⁻⁵	1.28 x10 ⁻³	1.35 x10 ⁻³
USTN	m ² a	7.55 x10 ⁻⁶	2.83 x10 ⁻⁶	1.04 x10 ⁻⁵
AA	m ³	1.06 x10 ⁻⁴	3.76 x10 ⁻⁴	4.82 x10 ⁻⁴
AM	kg Fe eq	5.30 x10 ⁻⁵	2.16 x10 ⁻⁴	2.69 x10 ⁻⁴
AF	kg oil eq	4.62 x10 ⁻³	9.17 x10 ⁻³	1.38 x10 ⁻²

2.5.3. Evaluación ambiental para el escenario de excretas y mortalidad de aves.

En este apartado se considera el impacto ambiental del escenario de heces y de mortalidad del proceso productivo. En la Tabla 45 se muestra que el escenario de excretas tiene un mayor impacto ambiental en comparación con mortalidad, específicamente en las categorías de cambio climático y uso de suelo por agricultura.

Tabla 45. Impacto ambiental para los escenarios de excretas y mortalidad de aves.

Categoría de impacto	Unidad	Excretas	Mortalidad	Total
CC	kg CO ₂ eq	3.91 x10 ⁻⁴	1.45 x10 ⁻⁴	5.36 x10 ⁻⁴
AO	kg CFC-11 eq	1.59E-11	1.72 x10 ⁻¹²	1.76 x10 ⁻¹¹
TH	kg PM<10um eq	1.66E-05	1.19 x10 ⁻⁶	1.78 x10 ⁻⁵
FOF	kg NMVOC	9.35 x10 ⁻⁷	5.50 x10 ⁻¹⁰	9.36 x10 ⁻⁷
FMP	kg 1,4-DB eq	1.62 x10 ⁻⁶	5.55 x10 ⁻⁸	1.68 x10 ⁻⁶
RI	kBq U ₂₃₅ eq	8.76 x10 ⁻⁶	2.75 x10 ⁻⁷	9.04 x10 ⁻⁶
AT	kg SO ₂ eq	7.84 x10 ⁻⁶	2.89 x10 ⁻⁷	8.13 x10 ⁻⁶
EM	kg 1,4-DB eq	3.25 x10 ⁻⁶	2.01 x10 ⁻⁷	3.45 x10 ⁻⁶
EAF	kg 1,4-DB eq	5.42 x10 ⁻⁸	4.88 x10 ⁻¹⁰	5.47 x10 ⁻⁸
ECT	kg 1,4-DB eq	3 x10 ⁻⁶	9.45 x10 ⁻⁹	3.60 x10 ⁻⁶
ECAF	kg P eq	1.31 x10 ⁻⁶	6.18 x10 ⁻⁹	1.32 x10 ⁻⁶
ECM	kg N eq	3.24 x10 ⁻⁷	6.82 x10 ⁻⁷	1.01 x10 ⁻⁶
USA	m ²	3.64E x10 ⁻⁴	1.51 x10 ⁻⁷	3.64 x10 ⁻⁴
USU	m ² a	8.25 x10 ⁻⁶	1.77 x10 ⁻⁸	8.27 x10 ⁻⁶
USTN	m ² a	5.99 x10 ⁻⁷	3.24 x10 ⁻¹¹	5.99 x10 ⁻⁷
AA	m ³	4.67 x10 ⁻⁵	-3.05 x10 ⁻⁷	4.64 x10 ⁻⁵
AM	kg Fe eq	1.01E x10 ⁻⁶	7.21 x10 ⁻⁹	1.02 x10 ⁻⁶
AF	kg petróleo crudo eq	5.18E-05	3.82E-06	5.56E-05

2.5.4. Análisis de influencia

Este análisis consiste en la evaluación subjetiva de la posibilidad de inferir sobre las variables implicadas en el impacto ambiental. Se basa en la revisión sistemática de la unidad funcional, el alcance del estudio, los criterios de cohorte y asignación, los resultados del ICV y la evaluación de impacto del ciclo de vida (EICV); comparando opciones de mejora del sistema y fortalecer conclusiones de estudio.

El análisis de influencia de las fases de producción del sistema-producto se presentan en la Tabla 46. Dicho análisis divide las oportunidades de mejora a través de grados de influencia A, B y C, según el alcance de la organización. Los grados de influencia van desde la mejora de infraestructura hasta la revisión y/o implementación de sistemas de gestión de calidad del sistema-producto.

Las oportunidades de mejora, que corresponden al grado de influencia “A” en relación al cambio de infraestructura, equipos, consumo y gestión de materiales se encuentran en las fases de cría de pollitas, desarrollo de aves y postura de huevo. El grado “B” de influencia considera la etapa de empaclado de huevo, pues en esta área se requiere de seguir una normativa para empaques de grado alimenticio, por lo tanto, no se puede hacer una modificación la gestión para la adquisición de cartón. La mortalidad y excretas también entran en un grado de influencia “C”, ya que para el caso de la mortalidad se tiene una influencia directa, en el caso las excretas se aplica un sistema de compostaje, pero el alcance de la granja es insuficiente para reducir el impacto ambiental.

En base al análisis de influencia se generó un escenario hipotético que permita analizar el desempeño ambiental y económico de las oportunidades de mejora. Estas características se presentan en la Tabla 47.

Tabla 46. Análisis de influencia de la producción de huevo para plato.

Etapa	Impacto ambiental (%)	Grado de influencia	Acción
Cría de pollitas	1.85	A	La granja debe monitorear el sistema de gestión de calidad asegurando el gasto responsable de insumos y el uso adecuado de equipos en el ciclo de producción.
Desarrollo de aves	17.22	A	Monitorear el sistema de gestión de calidad asegurando el gasto responsable de insumos y el uso adecuado de equipos en el ciclo de producción.

Postura de huevo	79.03	A	Monitorear el sistema de gestión de calidad asegurando el gasto responsable de insumos y el uso adecuado de equipos en el ciclo de producción.
Empacado de huevo	1.87	B	La granja debe invertir en sistemas de recolección y reciclado de cartón, así se reducen materiales empleados para empacado.
Manejo de mortalidad	0.007	C	La gestión de la mortalidad de aves se encuentra a cargo de una entidad externa especializada.
Manejo de excretas	0.001	A	La granja puede implementar un sistema de gestión de residuos sólidos que permita su valorización.

A= Grado de influencia alto: el alcance de la granja presenta posibilidades de reducir el impacto ambiental mediante la infraestructura, materia prima y economía.

B= Grado de influencia media: el alcance de la granja puede influir o reducir su impacto ambiental.

C= Grado de influencia bajo: la posibilidad de influir o reducir el impacto ambiental no está al alcance de la granja.

Tabla 47. Escenario hipotético para la evaluación de impacto del grado de influencia

Etapa	Escenario hipotético	Impacto ambiental actual (%)
Cría de pollitas	Reducción de un 5 % en el gasto de insumos tras implementar un sistema de gestión de calidad	1.85
Desarrollo de aves	Reducción de un 5 % en el gasto de insumos tras implementar un sistema de gestión de calidad	17.22
Postura de huevo	Reducción de un 5 % en el gasto de insumos tras implementar un sistema de gestión de calidad	79.03
Empacado de huevo	Recuperación 100 % de cartón	1.87
Manejo de mortalidad	Reducción de un 15 % en la mortalidad de aves tras la implementación de un sistema de gestión de salud.	0.007
Manejo de excretas	Adquisición de un sistema biodigestor para producción de biogás que permita reducir un 10% la demanda energética	0.001

2.5.5. Análisis de incertidumbre

Se llevaron a cabo dos tipos de incertidumbre a través de la Matriz de Pedigree y en análisis de Monte Carlo. El primer análisis se realizó para evaluar la representatividad y variabilidad del ICV, para el segundo caso se evaluó la consistencia del método de EICV a través de los métodos ReCiPe 2008, ReCiPe 2016 e ILCD 2011.

2.5.5.1. Incertidumbre con respecto al ICV

Se analizó cada entrada y salida del ICV para determinar el tipo de distribución de incertidumbre para cada dato de acuerdo a los siguientes criterios de distribución:

“Log normal”: se determina a partir del análisis de calidad de los datos con la Matriz de Pedigree.

“Normal”: este se toma en cuenta al considera que los datos siguen una distribución Gaussiana, empleando la media aritmética y su desviación estándar.

“Triangular”: si los datos se encuentran dentro de un rango mínimo y máximo y/o necesariamente corresponden a la media o mediana, se utiliza esta distribución.

Al determinar la distribución de incertidumbre en el ICV, se hizo una iteración de 1,000 ejecuciones mediante el análisis de Monte Carlo para evaluar la incertidumbre del impacto ambiental a partir de coeficientes generados en las distribuciones de incertidumbre.

Los resultados globales del análisis de incertidumbre del ICV se muestran en la Tabla 43. En base a las 1,000 ejecuciones con el método de Monte Carlo y un 95 % de confiabilidad exponiendo resultados de la EICV, desviación estándar y coeficientes de variación.

La Figura 43 muestra la incertidumbre con respecto al ICV del estudio actual, los resultados arrojaron que existe incertidumbre significativa para las categorías de agotamiento de agua (AA).

Tabla 43. Análisis de incertidumbre con respecto del inventario de ciclo de vida de la producción de huevo para plato.

Categoría de impacto	Abreviación	Unidad	Impacto ambiental	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
Cambio climático	CC	kg CO ₂ eq	5.65	0.41	7.64
Agotamiento de la capa de ozono	AO	kg CFC-11 eq	3.7x10 ⁻⁷	1.84x10 ⁻⁷	49.7
Toxicidad humana	TH	kg PM _{<10um} eq	0.24	0.09	40.5
Formación de oxidantes fotoquímicos	FOF	kg NMVOC	0.009	0.0007	8.23
Formación de material particulado	FMP	kg 1,4-DB eq	0.01	0.0007	7.16
Radiación ionizante	RI	kBq U ₂₃₅ eq	0.20	0.06	31.6
Acidificación terrestre	AT	kg SO ₂ eq	0.05	.003	7.15
Eutrofización marina	EM	kg 1,4-DB eq	0.02	0.001	7.75
Eutrofización de agua fresca	EAF	kg 1,4-DB eq	0.0007	0.0001	14.1

Ecotoxicidad terrestre	ECT	kg 1,4-DB eq	0.09	0.007	7.63
Ecotoxicidad de agua fresca	ECAF	kg P eq	0.02	0.002	8.35
Ecotoxicidad marina	ECM	kg N eq	0.005	0.001	18.3
Uso de suelo agrícola	USA	m ²	5.39	0.41	7.64
Uso de suelo por urbanización	USU	m ² a	0.001	0.0005	30.7
Uso de suelo natural	USTN	m ² a	0.05	0.004	7.88
Agotamiento de agua	AA	m ³	0.06	0.51	832
Agotamiento de recursos minerales	AM	kg Fe eq	0.005	0.0004	8.09
Agotamiento de recursos fósiles	AF	kg petróleo crudo eq	0.97	0.12	13.5

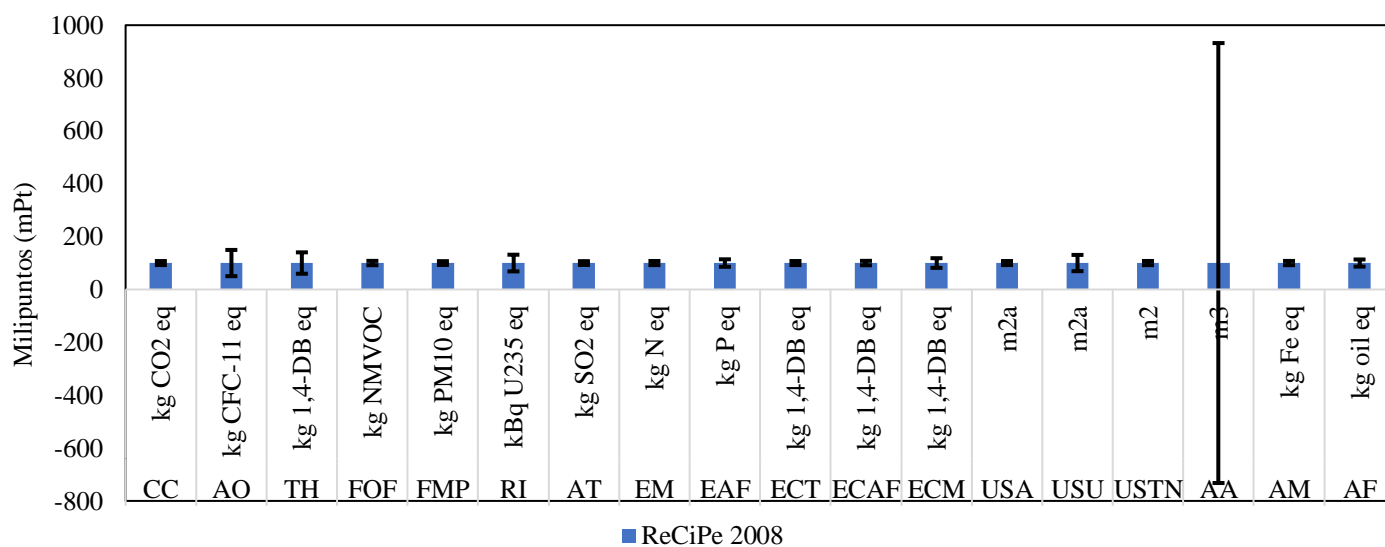


Figura 43. Análisis de incertidumbre con respecto al inventario de ciclo de vida de la producción de huevo para plato.

2.5.6. Incertidumbre con respecto al método de EICV

Una vez determinadas las distribuciones de incertidumbre respecto al ICV y el análisis de Monte Carlo, se llevó a cabo la incertidumbre con respecto al método de EICV a través de los métodos ReCiPe 2008 y 2016, así como el método ILCD 2011.

En la Tabla 49 se presentan las variaciones en la incertidumbre de los resultados con distintos métodos. Para la mayoría de las categorías de impacto se observan incertidumbres similares

con respecto al método, siendo significativas al 95% las categorías de impacto de agotamiento de agua (AA) y toxicidad humana (TH).

La Figura 44. presenta la comparación de la incertidumbre de acuerdo con el método de EICV. Los resultados arrojaron consistencias sobre los resultados en relación de los distintos modelos de caracterización con ligeras variaciones. Sin embargo, se observan resultados inconsistentes con fluctuaciones sobre agotamiento de ozono (AO), TH y AA.

Tabla 48. Comparación de los resultados de la incertidumbre de la EICV con respecto a los métodos aplicados.

ReCiPe 2008				ReCiPe 2016				ILCD 2011 Midpoint			
C. impacto	Unidad	EICV	CV	C. impacto	Unidad	EICV	CV	C. impacto	Unidad	EICV	CV
CC	kg CO ₂ eq	5.64	7.55	CG	kg PM2.5 eq	0.002	15.70	CC	kg CO ₂ eq	5.62	7.72
AO	kg CFC-11 eq	3.70x10 ⁻⁷	49.67	AOE	kg CFC11 eq	2.37x10 ⁻⁵	7.69	AO	kg CFC-11 eq	3.58x10 ⁻⁷	36.84
TH	kg 1,4-DB eq	0.24	40.49	THC	kg 1,4-DBC e	0.009	468.04	THEC	CTUh	7.49x10 ⁻⁸	23.74
FOF	kg NMVOC	0.009	8.22	THNC	kg 1,4-DBC e	126.83	8.17	THENC	CTUh	4.23x10 ⁻⁶	7.95
FMP	kg PM10 eq	0.01	7.15	FOSH	kg NOx eq	0.006	8.43	FOF	kg NMVO C eq	0.009	8.36
RI	kBq U235 eq	0.20	31.57	FOET	kg NOx eq	0.006	8.42	FMP	kg PM2.5 eq	0.002	7.50
AT	kg SO ₂ eq	0.05	7.15	FMPF	kg PM2.5 eq	0.002	15.70	RIE	CTUe	1.72x10 ⁻⁶	28.53
EM	kg N eq	0.02	7.75	RI	kBq Co-60 eq	0.06	36.30	RIHH	kBq U235 eq	0.20	34.25
EAF	kg P eq	0.0007	14.11	AT	kg SO ₂ eq	0.04	7.22	ET	molc N eq	0.27	7.03
ECT	kg 1,4-DB eq	0.09	7.62	EAF	kg P eq	0.0007	15.59	EM	kg N eq	0.02	7.81
ECAF	kg 1,4-DB eq	0.02	8.35	ECT	kg 1,4-DCB e	0.001	9.48	EAF	kg P eq	0.0007	12.89
ECM	kg 1,4-DB eq	0.005	18.30	ECAF	kg 1,4-DCB e	0.04	9.70	A	0.0671 7966	0.06	7.20
USA	m ² a	5.39	7.64	ECM	kg 1,4-DBC e	0.03	14.67	ECAF	31.515 3657	31.51	8.08
USU	m ² a	0.001	30.73	US	m ² a crop eq	5.30	7.71	US	kg C deficit	78.13	7.78
USTN	m ²	0.05	7.87	CA	m ³	0.05	953.29	AA	m ³ water eq	0.04	627.94
AA	m ³	0.06	832.29	ERM	kg Cu eq	0.001	7.68	ARMF	kg Sb eq	5.51x10 ⁻⁶	17.13

AM	kg Fe eq	0.005	8.09	ERF	kg petróleo crudo eq	0.92	13.91	CC	kg CO2 eq	5.62	7.72
AF	kg petróleo crudo eq	0.97	13.45								

- CC: Cambio climático
 AO: Agotamiento de ozono
 TH: Toxicidad humana
 FOF: Formación de oxidantes fotoquímicos
 FMP: Formación de material particulado
 RI: Radiación ionizante
 AT: Acidificación terrestre
 EM: Eutrofización marina
 EAF: Eutrofización de agua fresca
 ECT: Ecotoxicidad terrestre
 ECAF: Ecotoxicidad de agua fresca
 ECM: Ecotoxicidad marina
 USA: Uso de suelo por agricultura
 USTN: Uso de suelo de tierra natural
 AA: Agotamiento de agua
 AM: Agotamiento mineral
 AF: Agotamiento fósil
- CG: Calentamiento global
 AOE: Agotamiento de ozono estratosférico
 THC: Toxicidad humana carcinogénica
 THNC: Toxicidad humana no carcinogénica
 FOSH: Formación de ozono, salud humana
 FOET: Formación de ozono, ecosistema terrestre
 FMPF: Formación de material particulado fino
 RI: Radiación ionizante
 AT: Acidificación terrestre
 EAF: Eutrofización de agua fresca
 ECT: Ecotoxicidad terrestre
 ECAF: Ecotoxicidad de agua fresca
 ECM: Ecotoxicidad marina
 US: Uso de suelo
 CA: Consumo de agua
 ERM: Escases de recursos minerales
 ERF: Escases de recursos fósiles
- CC: Cambio climático
 AO: Agotamiento de ozono
 THEC: Toxicidad humana, efectos cáncer
 THENC: Toxicidad humana, efectos no-cáncer
 FOF: Formación de ozono fotoquímico
 FMP: Formación de material particulado
 RIE: Radiación ionizante E
 RIHH: Radiación ionizante HH
 ET: Eutrofización terrestre
 EM: Eutrofización marina
 A: Acidificación
 ECAF: Ecotoxicidad de agua fresca
 US: Uso de suelo
 AA: Agotamiento de agua
 ARMF: Agotamiento de recursos mineral y fósil

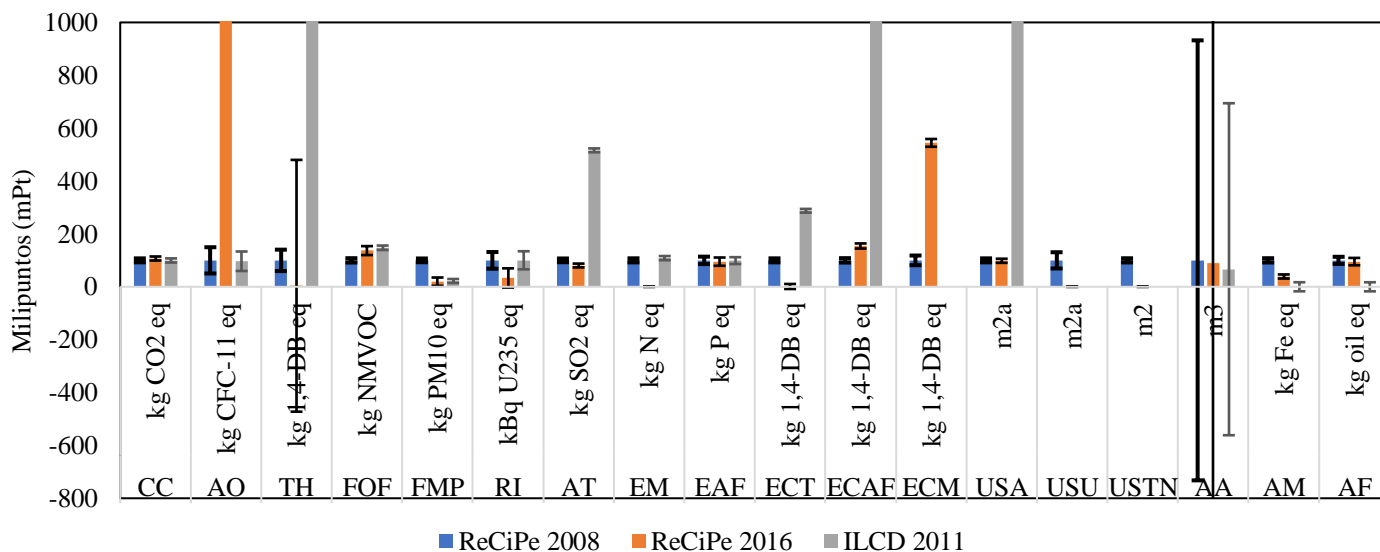


Figura 44. Análisis de incertidumbre con respecto al método de EICV de la producción de huevo para plato.

2.5.7. Conclusiones del análisis de ciclo de vida

Mediante los resultados de la evaluación del inventario de ciclo de vida y los análisis de contribución, influencia e incertidumbre se concluyen las siguientes conclusiones parciales:

- La producción de huevo para plato representa impactos ambientales diversificado en categorías de impacto sobre daño a la salud, ecosistemas y recursos naturales, derivado de un enfoque de ciclo de vida en el sistema producto.
- De acuerdo a la magnitud del impacto, la producción de huevo para plato presentó mayores repercusiones particularmente hacia el cambio climático, cambio de uso de suelo por agricultura, toxicidad humana y agotamiento de recursos fósiles.
- En cuanto a los resultados, el método seleccionado representa una aproximación al impacto ambiental a la producción de huevo, ya que los resultados presentaron ligeras variaciones entre métodos, siendo consistentes los impactos con los demás mecanismos y factores de caracterización (ReCiPe Midpoint 2008, 2016 e ILCD 2011).

2.5.8. Limitaciones del análisis de ciclo de vida

- El perfil de impacto ambiental estimado no puede generalizarse a todos los sistemas de producción de huevo, ya que se desconocen las condiciones y operación de las etapas del sistema-producto ajenos a este estudio. Sin embargo, se puede ampliar el universo de estudio considerando una mayor cubierta geográfica.

Capítulo 3

Mapa de flujo de valor

3.1. Justificación de la mejora continua en la producción de huevo

Es necesario darle un enfoque sustentable a la producción de huevo mediante la reducción de recursos sin comprometer el rendimiento del proceso. La granja avícola requiere de la demanda de insumos tanto de materiales como energéticos. A pesar que las actividades que se realizan dentro del proceso para la producción de huevo se encuentren estandarizadas, siempre hay una oportunidad de mejora para cada sistema. En los resultados obtenidos en el ACV, se identificó que el consumo energético de los equipos es un factor con el potencial de mejora a través de una propuesta, con equipos eficientes que realicen el mismo trabajo.

Se presentó una propuesta que tuvo resultados en la reducción del consumo energético, por ende, no sólo repercute en mejorar el precio del producto final, también como una reducción en los impactos ambientales del ciclo de vida de la producción de huevo.

3.2. Desarrollo del mapeo de flujo de valor

El estudio actual integra la herramienta de mapeo de flujo de valor (VSM, por sus siglas en inglés) para desarrollar una propuesta ecoeficiente del escenario futuro del consumo energético de la granja avícola. El marco de referencia de este estudio se compuso de cuatro partes:

- a) La primera parte consistió en un análisis de mapeo de flujo de valor considerando todos los insumos del sistema-producto.
- b) El siguiente paso derivó en un análisis de consumo energético de los equipos utilizados en las operaciones unitarias del proceso de producción, mediante un mapeo de flujo energético (EVSM).

- c) Una vez obtenido del EVSM, ahora se identifican los puntos que tienen posibilidad de aplicar una mejora continua.
- d) Por último, se llevó a cabo un diseño de una propuesta energéticamente ecoeficiente en consumo. En la Figura 45 se muestra un diagrama del marco de referencia en la aplicación del VSM actual.

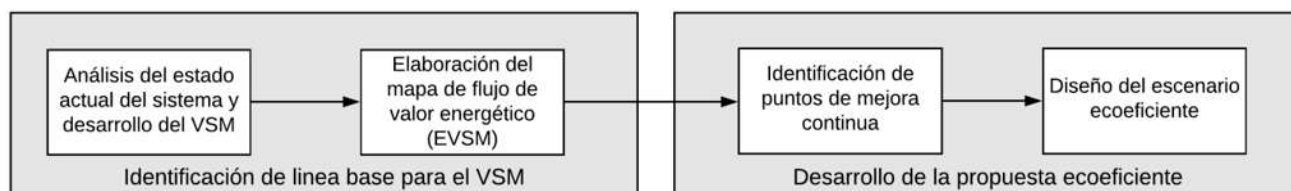


Figura 45. Marco de referencia de las etapas del desarrollo del VSM del estudio actual (Fuente: propia).

3.3. Marco de referencia del VSM del estudio actual

3.3.1. Análisis de mapeo de flujo de valor del estado actual del proceso

El análisis se realizó siguiendo la metodología del VSM y simbología correspondiente a la técnica. El desarrollo de cada etapa se detalla a continuación.

3.3.2. Objetivo del VSM

Diseñar una propuesta energéticamente ecoeficiente del sistema-producto de la producción de huevo, para un correcto control y manejo de la energía.

3.3.3. Seleccionar una familia de productos

El huevo para plato es el producto de interés, y que se obtiene al término de las 76 semanas que dura el proceso del sistema-producto. Al final del ciclo productivo se obtiene la cantidad de 1,800,000 kg de huevo. El VSM se limitó a la demanda de insumos de las etapas de cría de pollitas (6 semanas), el desarrollo de aves (10 semanas) y la postura de huevo de gallinas ponedoras (60 semanas) dentro de la granja de estudio.

3.3.4. Mapa del estado actual del sistema-producto

Se utilizó la información del apartado 2.5 de este documento, que corresponde a los datos del inventario del análisis de ciclo de vida de insumos energéticos y de materiales, que

posteriormente fueron analizados y clasificados de acuerdo al tipo de equipo utilizado y el insumo consumido en las diferentes etapas del proceso productivo del huevo. Lo anterior permitió el desarrollo del mapa del VSM del escenario actual.

Una vez identificadas las etapas, equipos de la granja y los flujos de los insumos, se aplicó un sistema de simbología para interpretar el mapa, el cual se muestra en la Figura 46.

Se utilizaron datos de placa de los equipos para identificar el consumo energético en el proceso productivo de huevo y el desarrollo del mapa.



Figura 46. Simbología utilizada en el mapeo de VSM de un sistema-producto (Lobato, 2012).

3.3.5. Mapeo de flujo de valor del uso energético del sistema-producto

Se identificaron datos de placa de equipos para determinar la eficiencia energética estándar del sistema-producto. El consumo de los equipos utilizados en la producción como motores, focos, ventiladores, entre otros, fue clasificado por operación unitaria y se determinó el consumo de energía por unidad de tiempo en funcionamiento, capacidades y producción.

A través del mapa del VSM del estado actual y de los datos obtenidos en el consumo energético de equipos, se llevó a cabo un mapa de EVSM el cual, presenta gráficamente el consumo energético por total y parcial en cada etapa del proceso.

Se utilizaron los datos de inventario de las casetas de las etapas de cría, desarrollo y postura. La Figura 47 presenta un esquema de distribución de la caseta para cría de pollitas, en el cual se indican los equipos que demandan energía en las operaciones unitarias:

- Extracción de aire en la caseta de cría.
- Calefacción del ambiente en la caseta de cría.
- Iluminación en las casetas avícolas.
- Abastecimiento de agua para aves.
- Provisión de alimento a las aves.

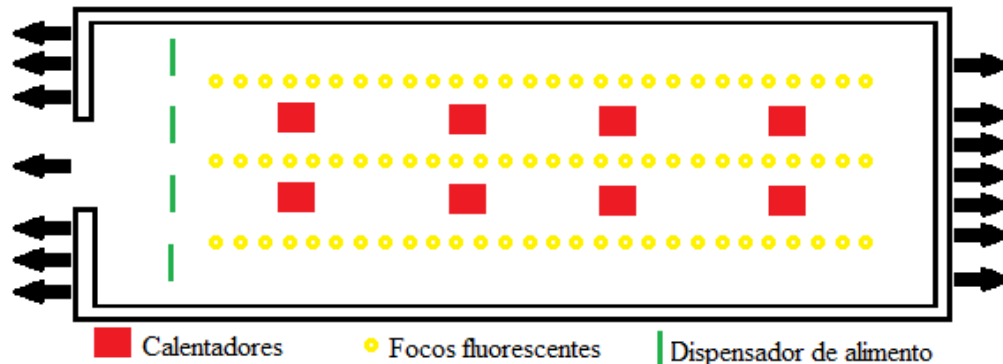


Figura 47. Distribución de equipos en la caseta de cría de la granja de estudio (Fuente: elaboración propia).

Los datos levantados en el inventario del ciclo de producción de huevo permitieron hacer estimaciones del consumo energético. Se determinó la energía específica, definida como la relación de energía consumida/producto generado, y la productividad energética (producto generado/ energía consumida) en la producción de 1 kg de huevo, mediante las ecuaciones 1 y 2 propuestas por (Baltierra-trejo, Arroyo-pitacua, & Márquez-benavides, 2017).

$$Energía\ específica = \frac{Uso\ de\ energía\ (kWh)}{Producción\ de\ huevo\ (kg)} \quad Ec.\ (1)$$

$$Productividad\ energética = \frac{Producción\ de\ huevo\ (kg)}{Uso\ de\ energía\ (kWh)} \quad Ec.\ (2)$$

3.3.6. Cadena de valor del estado futuro del proceso

El diseño de un estado futuro del proceso ofrece alternativas del área de trabajo y de ahorro en el gasto energético en equipos utilizados en las operaciones unitarias de producción. Una vez que se identificaron las soluciones a la mejora deseada para el proceso, se elaboró un mapa de flujo de valor futuro. Posteriormente se hizo una simulación del estado ideal del sistema y se comparó con indicadores actuales.

3.4. Resultados del análisis del mapeo de flujo de valor

3.4.1. Análisis del estado actual del sistema-producto.

Las etapas que demandan consumos de suministros en el sistema-producto del estado actual para la producción de huevo son:

- Cría: las pollitas que entran en esta etapa tienen un día de nacidas, manteniéndolas en condiciones estables hasta la semana seis.
- Desarrollo: las aves pasan a ser atendidas por un periodo de diez semanas. En esta etapa la alimentación de aves se realiza manualmente en la granja de estudio.
- Postura de huevo: es una etapa con un periodo de 60 semanas de producción de huevo que posteriormente se manda a empacar.

El sistema-producto está en relación con las etapas del ciclo de vida de la gallina ponedora, las cuales varían según la edad y biología del ave. El análisis de procesos y toma del inventario se determinó a partir de placas de equipo del ciclo productivo de huevo para plato. El flujo de producción que sigue el sistema-producto corresponde desde etapa de cría hasta la postura, se presenta en la Figura 48. Las etapas se realizan secuencialmente mostrando flujos de información centralizados en el control de producción, donde se reciben pedidos. La función del control de producción es, supervisar los procesos del sistema a través de un sistema de inspección temporal.

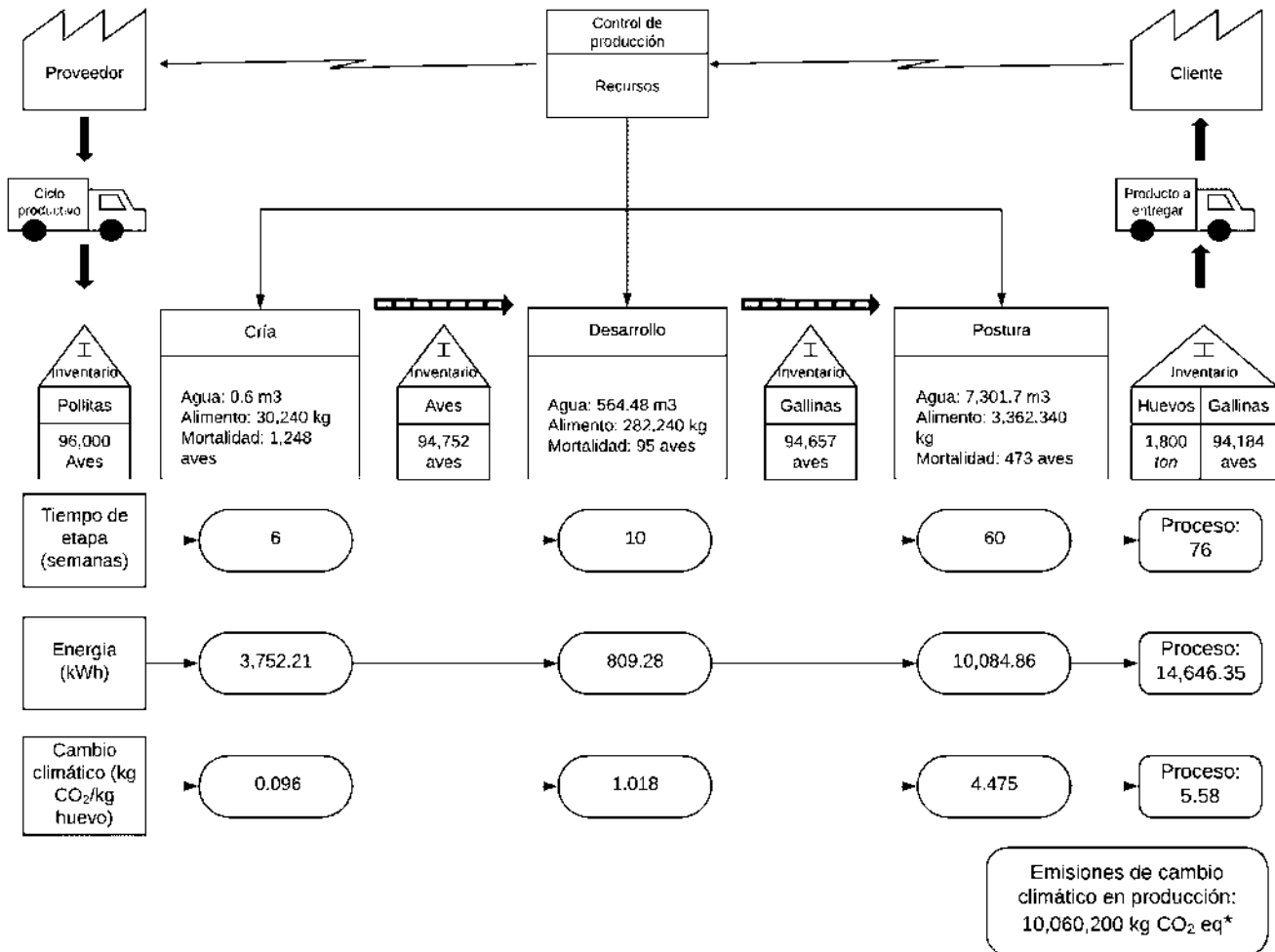


Figura 48. Mapa del Estado actual del proceso productivo de la producción de huevo (Fuente: propia).
 *Dato obtenido por el método ReCiPe Midpoint (H) V1.13 / World Recipe H del software SimaPro 8.5 para evaluación de impactos en ACV.

De acuerdo con el VSM del estado actual del sistema, la etapa que más recursos energéticos demanda es la de postura de huevo, seguida de la cría de pollitas. Y es que en la etapa de desarrollo de aves la alimentación se da manualmente, por lo que su consumo energético es menor en comparación con los dos anteriores.

3.4.2. Consumo energético para la producción de huevo para plato

La fuente de desperdicio más importante en la eficiencia energética de un proceso es la sobrevaloración de los equipos en la relación consumo/potencia. Sin embargo, se puede realizar ajustes para una operación eficaz, reduciendo consumos, pero sin comprometer la producción. En la Figura 49 representa el mapa de flujo de valor energético del estado actual del proceso.

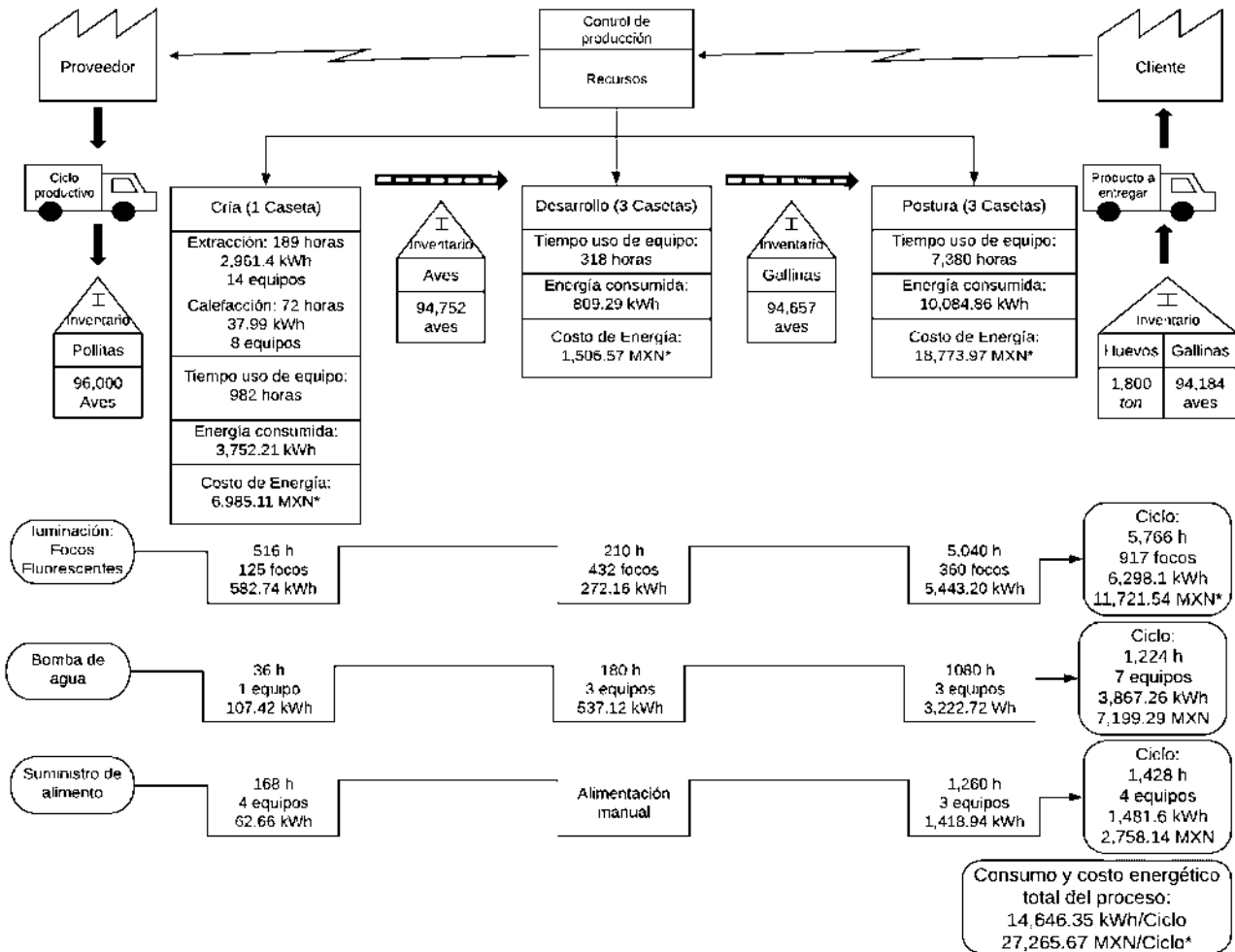


Figura 49. Mapa del flujo energético de operaciones unitarias en la producción de huevo (Fuente: propia). *Precio obtenido de acuerdo a la tarifa gran demanda en media tensión horaria (GDMTH) de CFE para diciembre del 2018, <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRENegocio/Tarifas/GranDemandaMTH.aspx>

Con el diagrama y los datos obtenidos del VSM del estado actual, se llevó a cabo el EVSM del consumo energético de los equipos en las etapas de producción. El sistema-producto de

la granja de estudio tiene una demanda energética de 14,646.35 kWh en un periodo de 76 semanas para producir 1,800 t de huevo para plato.

De acuerdo con el EVSM, los focos fluorescentes de la operación de iluminación son el equipo con mayor unidades, número de horas en función y de mayor gasto energético. La Tabla 49 muestra un resumen del consumo energético del escenario actual total y por equipo.

Tabla 49. Consumo energético del proceso productivo de huevo de la granja de estudio (Fuente: Propio).

Equipo	Consumo energético del equipo (kW)	Número de equipos	Horas de uso	Consumo total del proceso (kWh)	<i>Wh</i>	<i>Wh</i>
					1,000 aves * día	ton huevo
Carro dispensador de alimento (Cría)	0.373	4	168	62.66	1.24	34.81
Carro de llenado de alimento (Postura)	1.119	3	1,260	1,418.94	28.17	788.30
Bomba dispensadora de agua	2.984	7	1,224	3,867.26	77.18	2,148.47
Focos (fluorescentes)	0.009	917	5,766	6,298.1	125.69	3,498.94
Extractor (cría)	1.119	14	189	2,961.4	58.74	1,645.22
Calentador (cría)	0.0659	8	72	37.99	0.75	21.10
Total			8,679	14,646.35	291.77	8,136.84

Los resultados del estudio indican una demanda energética de 8.13 kWh/t de huevo producido. El consumo de la granja es bajo en comparación con lo encontrado en otros estudios para granjas automatizadas. (Nathan Pelletier, Ibarburu, & Xin, 2013), reportaron valores de 223.5 kWh/t de huevo, mientras que (Wiedemann S.G., 2011) registró un gasto de 130 kWh/t de huevo. La diferencia en el nivel de automatización y las características de los equipos pudieran explicar la variación de ahorro.

La iluminación representó un 43% del consumo energético en las operaciones de producción de huevo del proceso actual, como se observa en el diagrama de Pareto de la Figura 50. Lo anterior porque las aves requieren luz en las tres etapas, fungiendo como un factor determinante en la postura de huevo.

El equipo de calefacción presentó la menor demanda energética, ya que sólo se utiliza las primeras tres semanas durante la etapa de cría del ciclo de producción de huevo. De acuerdo con (Oviedo-Rondón, 2009), en las granjas ponedoras la energía utilizada en iluminación y ventilación es más relevante que la usada en calefacción, sin embargo, esto depende de la localización geográfica de la granja de producción.

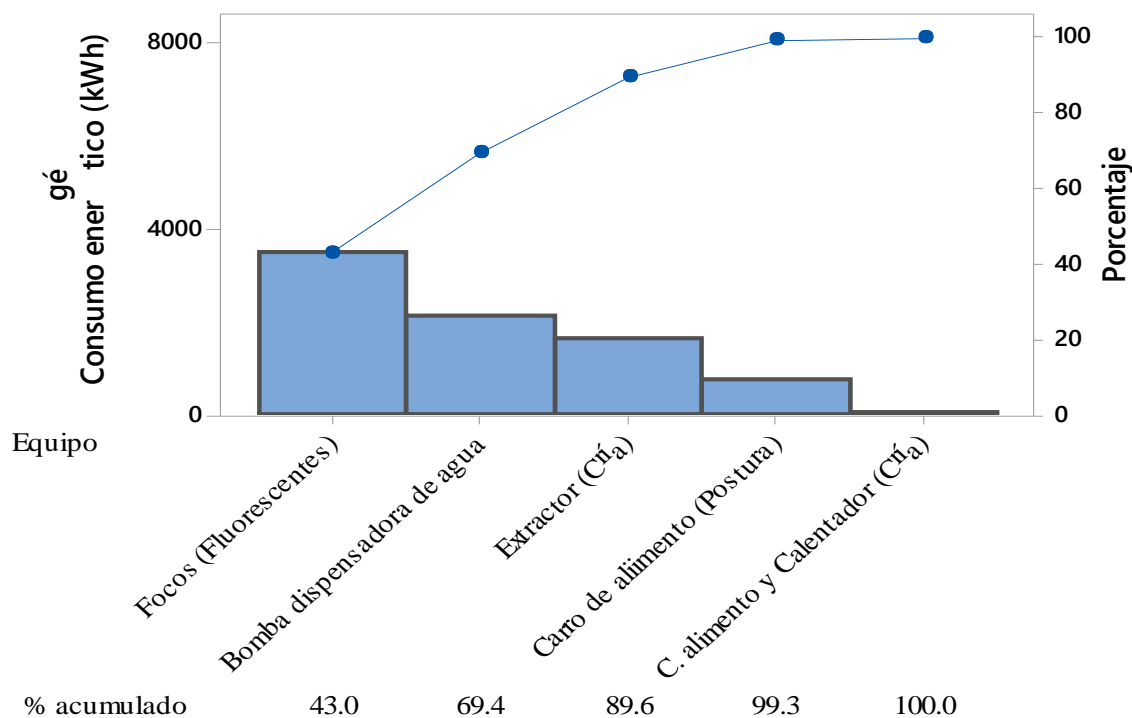


Figura 50. Demanda porcentual acumulada del gasto energético por operación unitaria en la producción de huevo (Fuente: Elaboración propia Minitab 18).

El rendimiento energético en la producción de 1 kg de huevo de la granja de estudio fue de 0.0081 kWh/kg y la productividad energética de 122.6 kg/kWh. Este valor es superior a lo encontrado por (Rodríguez *et. al.*, 2009), quienes reportaron una energía específica de 0.004 kWh/kg de huevo, debido a un consumo energético de 265,770 kWh/Ciclo productivo y una producción de 65,084,68 kg de huevo. El resultado anterior indica que el estudio actual requiere del doble del gasto energético para una productividad menor. Este resultado expone la importancia de realizar una propuesta energéticamente ecoeficiente del sistema-producto de la granja “Laguna Colorada” para reducir su consumo eléctrico, así como el impacto ambiental, mediante la mejora del sistema-producto a través de una alternativa que no comprometa el rendimiento del proceso.

3.4.3. Diseño del escenario futuro del proceso energéticamente ecoeficiente

Del análisis del consumo energético se identificaron los equipos, que se observan en la Tabla 49, con mayor gasto y así proponer alternativas de ahorro energético, a través de equipos que presenten una mejor eficiencia. Las oportunidades para la conservación de energía en base al área de consumo en una granja avícola ponedora son: iluminación, aislamiento térmico, ventilación y generación energética (Oviedo-Rondón, 2009).

3.4.3.1. Distribución del alimento

El rendimiento del funcionamiento de un motor está dado por dos factores, el torque y la potencia. El primero es la fuerza necesaria a aplicar para mover o girar un objeto, el cual se mide en Newton/metro (N/m). Por otro lado, la potencia es la tasa a la cual se ejerce un trabajo y se mide en kW o caballos de fuerza (HP). Cuando un motor cuenta con un alto torque, al momento de trabajar acelera lentamente desde bajas revoluciones, lo que permite mantener una mejor eficiencia para transportar material. Si se requiere un motor que funcione con poca aceleración y que mueva mucha carga, es necesario un mayor torque a bajas revoluciones. Sin embargo, un motor para altas velocidades (2 polos), se caracteriza porque el torque se encuentra en el máximo de revoluciones (MotorCO, 2011).

Los motores cuentan con una medida de la capacidad de una carga para absorber energía activa, llamado factor de potencia (FP). Indica la cantidad de energía eléctrica que se ha convertido en trabajo útil, mediante la relación entre la energía activa y aparente (INTEFP, 2002). En México, cuando este factor se encuentra por debajo de 0.9, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) cobra una penalización por aumento de reactivos y demanda de posibles caídas de tensión. La instalación de un banco de capacitores permite reducir la demanda reactiva, mejorando el FP. El FP de un motor de inducción a plena carga, es aceptable dentro de un 80 ó 90 %, según la velocidad y el tipo de motor (Leyden, 1999). Para cargas pequeñas, el factor de potencia disminuye. Mediante la aplicación de capacitores, el factor de potencia se compensan resultando del orden del 95 al 98% a plena carga y cargas parciales (Leyden, 2000).

Para alturas fuera del rango de instalación de motores superiores a 1000 s.n.m. el motor seleccionado deberá ser reducido en potencia mediante el factor de derrateo (kHT), debido a

la disminución de la presión atmosférica y densidad del aire, en la Tabla 50 se muestra dicho factor según la temperatura y altura (SIEMENS, 2018).

Tabla 50. Factor de reducción kHT para variaciones de altura y temperatura de instalación (SIEMENS, 2018).

Altura s.n.m.	< 30°C	30°C a 40°C	41°C a 45°C	46°C a 50°C	51°C a 44°C	56°C a 60°C
0	1.07	1	0.96	0.92	0.87	0.82
1500	1.04	0.97	0.93	0.89	0.84	0.79
2000	1	0.94	0.90	0.86	0.82	0.77
2500	0.96	0.90	0.86	0.83	0.78	0.74
3000	0.92	0.86	0.82	0.79	0.75	0.70
3500	0.88	0.82	0.79	0.75	0.71	0.67
4000	0.82	0.77	0.74	0.71	0.68	0.63

Las propuestas ecoeficientes en la distribución de alimento por etapas se describen en seguida:

- Etapa de Cría

El suministro de alimentos en la etapa de cría se realiza mediante un carro dispensador, el cual cuenta con un motor de dos polos con 0.5 HP de potencia, un consumo eléctrico de 0.373 kW y 1.17 Nm de torque. Para un mejor consumo energético, se recomienda un motor marca SIEMENS de 4 polos con número de serie 1RF20000DB104AB1 de 0.33 HP, un factor de servicio de voltaje 115/230, un factor de servicio del motor de 1.4, una eficiencia nominal del 55, un FP de 66.3. una revolución nominal de 1,740 RPM, torque de 1.36 Nm y un consumo eléctrico de 0.25 kW. Para un mejor rendimiento del motor hay que tomar en cuenta la altura de la zona de la granja, ajustando con el factor kHT la potencia nominal sería de .316 HP Esta propuesta representó un ahorro del 32.97% en el consumo energético, con una disminución de 20.66 kWh/ciclo de gasto en la duración de la etapa de cría. Dando un consumo total del escenario futuro de 42 kWh. Se recomendó el motor de 4 polos porque tiene un mejor FP en comparación el un motor de 2 polos de 0.5 HP (64.4 – 66.1), que es el que se opera en el escenario actual (SIEMENS, 2018).

- Etapa de Postura

La distribución de alimento en la etapa de postura se lleva a cabo mediante un carro de llenado, que utiliza un motor de dos polos con una potencia de 1.5 HP, un consumo de 1.119

kW. Se propone un motor trifásico SIEMENS serie NEMA, de referencia 1LE2225-1AA11-4AA3 de 1 HP, un consumo de 0.75 kW, un factor servicio de voltaje 230, un factor de potencia de 81.1, una eficiencia del 82.5% y una revolución nominal de 3,520 RPM (SIEMENS, 2018). Tras la simulación del impacto ambiental en con el escenario ecoeficiente se determinó un ahorro de 473.94 kWh/ciclo, representando un 33.40% del consumo del estado actual por ciclo productivo.

3.4.3.2. Suministro de agua

La bomba de agua representa el 26.4% del consumo eléctrico total en el proceso del estado actual. Una problemática común a la hora de hacer las especificaciones de un equipo es el sobredimensionamiento, llegando a causar pérdidas energéticas. La bomba de agua actual tiene una potencia aproximada de 4 HP, con un consumo eléctrico de 2.984 kWh. La etapa de postura necesita un flujo promedio de 110 L/min aproximadamente para abastecer la demanda de agua. Por lo tanto, se propone un motor trifásico SIEMENS serie NEMA, de referencia 1LE2225-1AA31-4AA3 de 2 HP, un consumo de 1.492 kWh, un factor servicio de voltaje 230/460, un factor de potencia de 87.6, una eficiencia del 85.5%, torque nominal de 2.9 Nm y una revolución nominal de 3,515 RPM (SIEMENS, 2018).

La aplicación de la propuesta para este apartado permitirá la reducción de un 62.49% en el consumo energético, lo que equivale un total de 1,450.22 kWh/ciclo. Logrando un mejor trabajo durante el proceso productivo sin comprometer el rendimiento del ovoproducto.

3.4.3.3. Iluminación

El sistema de iluminación presentó la mayor demanda energética del proceso, con un 43%. Si se quiere sustituir un foco para una mejor eficiencia, lo recomendable es buscar el equivalente en lúmenes (lm) más que en watts, debido a que indica la cantidad de luz emitida en relación a la energía consumida. En el proceso de producción de huevo, la luminancia es un factor primordial para la postura. De acuerdo con (Mongeau, 2017), las gallinas ponedoras requieren de al menos 5 lux para una producción eficiente, por lo tanto, una mayor iluminación a un menor consumo es lo ideal. Para la disminución en el gasto energético, se sugiere sustituir los focos fluorescentes por focos LED (mayor lumen por watt consumido), con el objetivo de incrementar la eficiencia lumínica y reducir desperdicios.

El equipo que utiliza en la iluminación de manera convencional, son focos fluorescentes de 9W (65 lm), con una luminancia total de 59,605 lm. Para darle un enfoque ecoeficiente a este sistema, se planteó la siguiente alternativa de ahorro energético. Consiste en sustituir la misma cantidad de focos, por otros de tecnología LED marca Phillip (8718696580059) con 3.5W de potencia, una iluminación de 350 lm y duración de 15,000 h de vida (equivalente a 6.6 ciclos de producción de huevo). Dicha propuesta ecoeficiente permitirá abastecer una luminancia de 320,950 lm (5.3 veces más) con un lux promedio de 4.7 lx, además de generar un ahorro energético del 61.12% con un total de 3,849.71 kWh/ciclo.

3.4.3.4. Extracción

La ventilación tuvo una contribución de 20.21% y es fundamental para mantener las condiciones de la nave avícola, entre estos: temperatura, recirculación de aire, eliminación de humedad y expulsión de gases como amoníaco, de lo contrario puede afectar la salud de las aves. (Oviedo-Rondón, 2009; SAGARPA, 2009). Estos equipos requieren de un control en el flujo interno y externo del aire, mediante la velocidad del extractor o por grietas, que generan la reducción de la eficiencia energética debido a un desequilibrio del sistema. El equipo que se usa en el estado actual genera un consumo energético de 1.119 kWh, con una potencia de 1.5 HP. Se sugiere utilizar un motor marca SIEMENS con referencia 1LE2225-1AA11-4AA3 con servicio de voltaje 220/380, de 1 HP de potencia, una revolución nominal de 3,520 RPM, un consumo energético de 0.75 kWh, una eficiencia de 82.5% y un FP de 81.1 y un torque nominal de 1.5 Nm (SIEMENS, 2018). La alternativa del equipo que se propone permitirá un ahorro energético del 32.98% con un total de 976.90 kWh por cada ciclo productivo.

3.4.3.5. Calefacción

Este tipo de sistemas se utilizan en zonas de climas fríos, o al menos en el inicio de vida de los pollitos, debido a que es necesario aportar temperaturas uniformes entre 30-33°C dentro de la nave. Si la nave no se encuentra en adecuadas condiciones de aislamiento, la repercusión de los costes tiende a ser elevado.

El consumo de gas L.P. para la calefacción en comparación con los demás sistemas del proceso, se encuentra muy por debajo en comparación con el consumo eléctrico, y sólo se usa los primeros tres días de la etapa de cría. Por lo tanto, se recomienda el periódico

mantenimiento cada ciclo productivo para evitar pérdidas y el uso de instaladores electrónicos como sensores y termostatos, permitiendo obtener ahorros deseados de energía, mediante el uso del equipo cuando sea necesario.

La función de los equipos de calefacción es proporcionar calor a las superficies o al aire de las naves. Existen calefactores del tipo radiante que tienden a dirigir el 40% del calor hacia el aire y el restante al suelo. Sin embargo, los calefactores de infrarrojo son más eficientes para calentar la superficie de la nave, proyectando hasta el 90% del calor al piso y el resto al aire, estos son equipos que ofrecen una relación consumo/trabajo (Oviedo-Rondón, 2009).

3.4.4. Escenario futuro del sistema producto

La fuente de desperdicio más importante en la eficiencia energética de un proceso es la sobrevaloración de los equipos en la relación consumo/potencia. Sin embargo, se puede realizar ajustes para una operación eficaz, reduciendo consumos, pero sin comprometer la producción. En la Figura 51 se muestra el VSM del estado futuro ideal del proceso de producción de huevo para plato. Posteriormente la Tabla 51 muestra los ahorros energéticos por operación realizada.

Tabla 51. Comparación del gasto energético del estado actual vs escenario ecoeficiente del proceso productivo de huevo de la Granja Laguna Colorada (Fuente: propia).

Operación unitaria	Gasto escenario actual (kWh)	Gasto escenario ecoeficiente (kWh)	Reducción porcentual
Iluminación	6,298.1	2,448.39	61.12 %
Bomba de agua	3,867.26	1,933.63	50.00 %
Suministro de alimento	1,481.6	987	33.38 %
Extracción	2,961.4	1,984.5	32.98 %

Con la propuesta ecoeficiente y el ajuste de relación consumo/potencia en los equipos, se logró obtener una reducción del 49.54% en el consumo energético del total de la granja, sin comprometer la producción actual del proceso. La iluminación, que es el proceso que mayor demanda energética requiere, tuvo una reducción del 61.13% con la sustitución de focos LED, además de tener mayor cantidad de iluminación con menor consumo.

La reducción del insumo energético en el proceso, permite lograr una disminución de contaminantes por la demanda energética. Al mismo tiempo, el precio de producción disminuye, lo que permite enfocar el proceso hacia un enfoque sustentable.

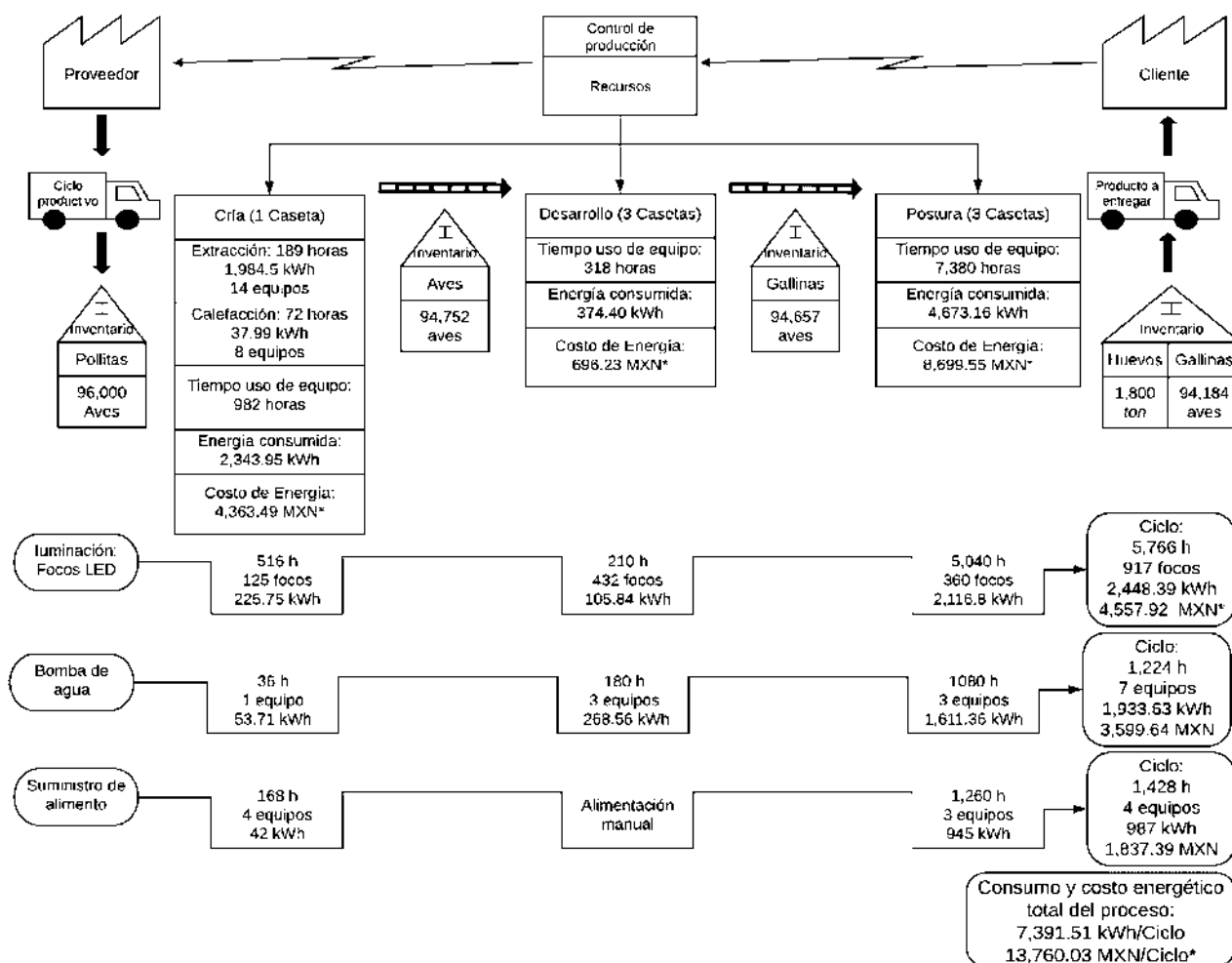


Figura 51. VSM del estado futuro del flujo energético de operaciones unitarias en la producción de huevo. *Precio obtenido de acuerdo a la tarifa gran demanda en media tensión horaria (GDMTH) de CFE para Diciembre del 2018, <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRENegocio/Tarifas/GranDemandaMTH.aspx>

3.4.5. Evaluación de impacto ambiental del escenario actual contra la propuesta ecoeficiente

Una vez establecida la propuesta ecoeficiente (escenario futuro) para el proceso de la producción de huevo en la granja de estudio, se procedió a ejecutar un segundo análisis de

ciclo de vida, para conocer el impacto ambiental por la alternativa ecoeficiente respecto a los gastos energéticos del proceso.

En la Tabla 52 se presenta una comparativa de la sumatoria de impactos ambientales más significativos en la producción de huevo (apartado 2.4) para las etapas de cría, desarrollo y postura, únicamente para la energía en el estado actual del proceso, contra la propuesta energética para el escenario futuro del sistema, además del ahorro obtenido para cada categoría de impacto ambiental.

Tabla 52. Comparación del impacto ambiental sobre el consumo energético del estado actual vs estado futuro del proceso para producción de huevo (Fuente: propia).

Categoría de impacto	Unidad	Impacto energético del estado actual	Impacto energético del escenario futuro	Ahorro energético del impacto ambiental
Cambio climático	kg CO ₂ eq	5.142x10 ⁻³	2.235x10 ⁻³	56.53%
Toxicidad humana	kg PM<10um eq	1.1818x10 ⁻³	7.9x10 ⁻⁴	56.54%
Ecotoxicidad de agua fresca	kg 1,4-DB eq	4.93249x10 ⁻⁵	2.1438x10 ⁻⁵	56.53%
Ecotoxicidad marina	kg P eq	4.46823x10 ⁻⁵	1.94199x10 ⁻⁵	56.53%
Uso de suelo agrícola	kg N eq	1.96x10 ⁻⁴	8.52385x10 ⁻⁵	56.51%
Uso de suelo natural	m ² a	9.14347x10 ⁻⁷	3.98591x10 ⁻⁷	56.40%
Agotamiento de recursos fósiles	kg Fe eq	1.627x10 ⁻³	7.08x10 ⁻⁴	56.48%

La propuesta ecoeficiente con enfoque energético presentó un ahorro promedio de 56.33% en impactos ambientales sobre el gasto eléctrico de la producción de huevo. Se registró un ahorro monetario de 13,505.64 MXN por cada ciclo productivo.

La aplicación de las herramientas de manufactura esbelta para la búsqueda de una mejora continua es una excelente herramienta en reducir costos en procesos productivos. Debido a su amplia capacidad de aplicación no sólo se puede enfocar en energía, también en materias

primas, tiempos, costos, pedidos, entre otros. Este proyecto demostró que la integración del AVC junto con el VSM permitió reducir casi la mitad de los gastos energéticos en el sistema-producto.

Capítulo 4

Beneficio ambiental y social de la producción de huevo de plato en un escenario ecoeficiente

En este capítulo se analizaron los costos económicos-ambientales de la producción de huevo derivado del gasto de insumos energéticos, tanto del escenario actual, como el escenario ecoeficiente presentado en el capítulo 3 de este trabajo. Para esto, se tomó en cuenta los resultados obtenidos del consumo eléctrico y su respectivo impacto ambiental potencial generado en cada etapa productiva, según el escenario.

El estudio actual surge inicialmente para resolver la problemática en la falta de información respecto a los inventarios de gases de efecto invernadero, por parte del sector avícola mexicano en la producción de huevo, el cual, se pudo identificar tras llevar a cabo la conceptualización del estudio en cuestión. Posteriormente, mediante un análisis de ciclo de vida (ACV), se llevó a cabo una evaluación de impacto ambiental de punto medio por el software SimaPro 8.5; seleccionando las categorías de impacto que más se relacionaban a esta actividad. Los resultados obtenidos del ACV arrojaron que la energía es el insumo el cual se puede intervenir para aplicar un mapeo de flujo de valor (VSM), identificando oportunidades de mejora a medida por una propuesta ecoeficiente. Finalmente, se aplicó un análisis de costo-efectividad donde se internalizaron las externalidades surgidas por la reducción de insumos energéticos que presentó el escenario ecoeficiente, así como de impactos ambientales, con el fin de medir el beneficio ambiental y social.

4.1. Internalización de externalidades en materia ambiental

Se conoce como externalidad a un efecto que genera un proceso económico, ya sea comercial o industrial, sobre un tercero que no está directamente relacionado con este (Avramovich & Gallego, 2010). Las externalidades se clasifican en dos tipos. Son positivas cuando se crea

un beneficio a la parte indiferente, por ejemplo, que un establecimiento contrata un servicio de vigilancia para vigilar la zona donde se encuentra; beneficiando a demás personas y establecimientos. Desde otro ángulo, se dice que son negativas cuando una actividad causa un costo indirecto que debe de ser atendido por un actor económico ajeno, por ejemplo, arrojar basura a un lago (Piera, 2015). La internalización de una externalidad es como los costos se integran a un proceso económico, surgiendo precios agregados a un bien producido (Gobernación, 2013). Así fue como en 1920 Arthur Pigou, propuso el establecer impuestos en costos de producción en las externalidades de los procesos, como alternativa de internalizar externalidades (Piera, 2015).

Dentro de la producción también existen externalidades positivas, la cual se obtiene tras la difusión de una tecnología nueva. Existe cuando se lleva a cabo una innovación y/o diseño por una empresa o institución. Sin embargo, el beneficio que se puede presentar se extiende hacia la sociedad y no solo a la compañía. Las subvenciones son el principal instrumento para interiorizar este tipo de externalidades. Cuando se presenta una externalidad positiva en la producción, se dice que la intersección de la curva de demanda con respecto de la de costos sociales, determinan el óptimo nivel de producción (Goodwin, 2007; Piera, 2015). En la Figura 52 se muestran externalidades positivas en la producción.

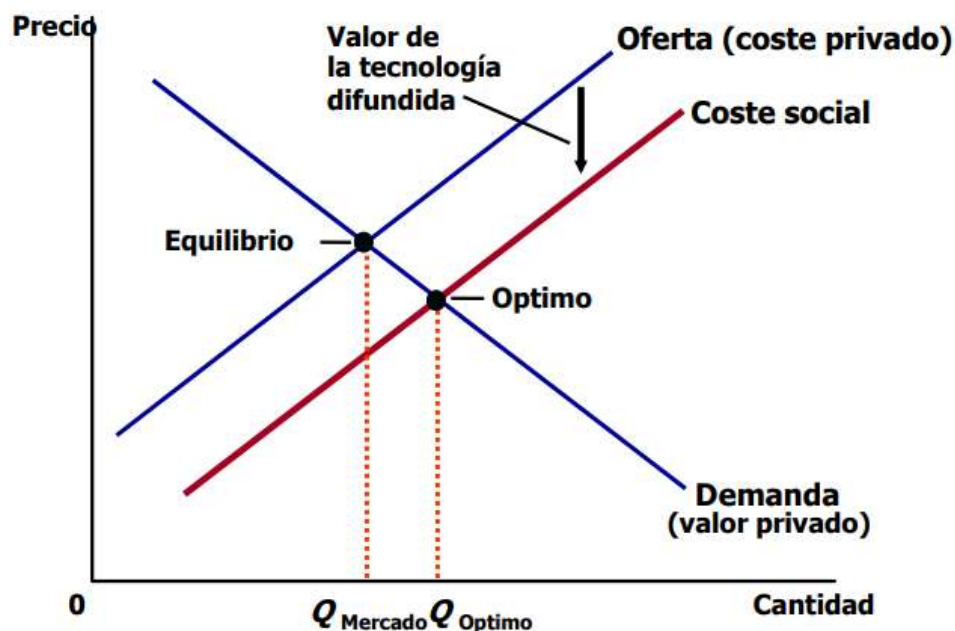


Figura 52. Externalidad positiva en producción (Piera, 2015).

4.2. Economía ambiental

El conjunto de procesos que la sociedad realiza para asegurar la producción de bienes y servicios a la población, permite la generación de actividades económicas. Sin embargo, para que la actividad industrial y económica se mantengan constantes, se requiere de servicios ambientales.

Se ha demostrado que la relación entre la actividad humana y el medio natural en el sistema neoclásico económico ha causado un desequilibrio en la capacidad de carga en el ambiente, presentando problemas tales como: efecto invernadero, pérdida de biodiversidad, destrucción de capa de ozono (Klink & Alcántara, 2011). Por lo tanto, en busca de integrar las repercusiones ambientales generadas en el desarrollo de bienes y servicios, surgió la economía ambiental. La cual se enfoca en la asignación eficiente de recursos naturales designados a la actividad económica, así como sus externalidades, haciendo de esta relación un enfoque recíproco (González-García et al., 2014; Hyland, 2010).

4.3. Métodos de valoración económica ambiental

La valoración ambiental (VA) permite llevar a cabo una medición monetaria tanto de la pérdida como de la ganancia de una utilidad personal o colectiva, a causa de una mejora o

daño de activos ambientales, para definir la cantidad a medida del impuesto corrector. O bien, establecer el punto máximo de eficiencia ambiental y social (Scott, 2015). El definir quien le da el valor al ambiente cuando la economía ambiental lo estima, presenta dificultades al momento de especificar los derechos de aquellos que disponen de servicios ambientales y los que no. La complejidad radica en que frecuentemente aquellos que no provocan un efecto nocivo hacia el medio, no son quienes lo padecen (tanto a nivel regional, nacional o mundial).

Existe un grupo de metodologías que permite valorar económicamente el medio ambiente, analizando el costo de producir una unidad de un bien o servicio ambiental, conocido como valor económico total (VET). Sin embargo, existe la herramienta de costo efectividad (ACoE), en la que asume una mejora a medida y busca la forma de como invertir los recursos de la mejor manera, a través de evaluar alternativas en función de costo/efecto/resultado. A continuación, se describen estas técnicas.

4.3.1. Valor económico total

El VET se define como el valor teórico por unidad de bien, servicio o unidad ambiental que la población dispone a pagar, según el grado de conocimiento y percepción de su importancia. Dentro de los elementos que compone el VET se integra el valor de no uso y de uso, vinculados con sus métodos de valoración económica (MVE) (Cristeche & Penna, 2008). El primer caso se asocia habitualmente con la definición de valor de existencia. El valor de uso forma parte de otros elementos que se describen a continuación, posteriormente se presenta un esquema en la Figura 53.

El valor de uso se define como el valor económico asociado de un recurso. Este a su vez se subdivide en valor de uso directo, indirecto y de opción. El primero hace referencia al aprovechamiento de un recurso en un sitio específico; el uso puede ser constitutivo (consumido por actividad o proceso, ej.: caza o pesca) o no constitutivo (paisajismo/recreación) (Salgado & González, 2015). El valor de uso directo hace alusión cuando la población no está en contacto con el recurso en su estado natural, pero aun así se beneficia del mismo, un ejemplo de este caso es el reciclaje de nutrientes, residuos y la regulación climática. Por último, el valor de opción indica el valor de uso potencial de un recurso, relacionado a lo que la población está dispuesta a pagar actualmente por usar un recurso en el futuro (Regalado, 2005).

El valor de no uso, también conocido como valor intrínseco. Está relacionado al valor que se encuentra en la propia naturaleza de las cosas y sus atributos, conocido como valor de existencia. Este valor es independiente de la apreciación de la gente, aun cuando nunca lleguen a tener contacto con él. A pesar de ello, su utilidad se capta mediante las preferencias de la humanidad (FAO, 2007).

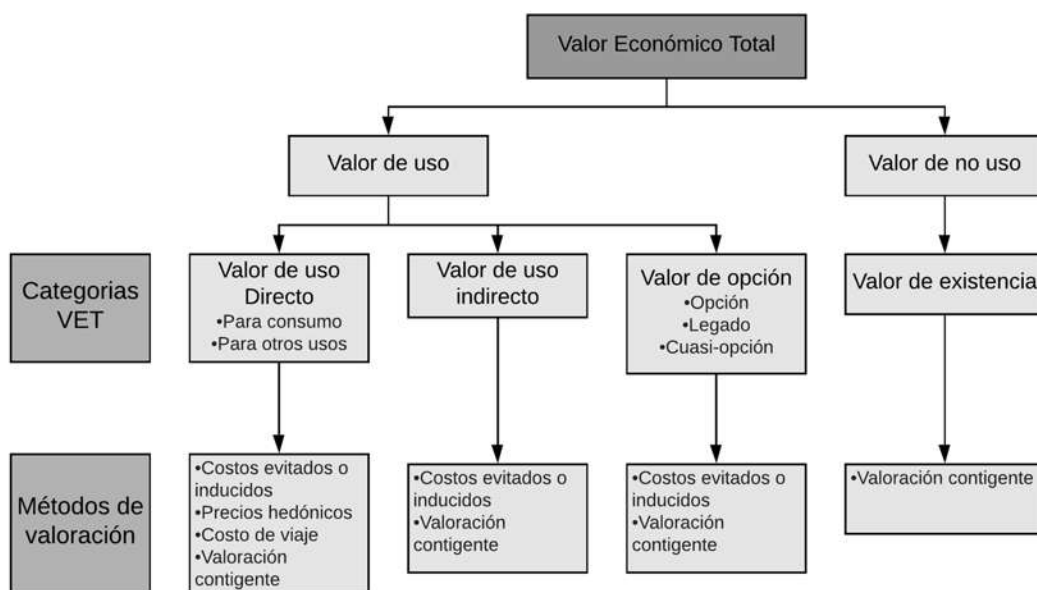


Figura 53. Composición del Valor Económico Total y los métodos de valoración económica asociados. Tomado y editado de: (Cristeche & Penna, 2008).

4.3.1.1. Métodos de valoración económica ambiental

Dentro del marco de referencia de la economía ambiental se clasifican cuatro métodos de valoración. El método de costos evitados, costo de viaje, precios hedónicos y de valoración contingente (Cerdeña, 2009). Los tres primeros están considerados como métodos de preferencias reveladas (indirectos), el último, como de preferencias declaradas (directo). En la Figura 54 se muestra un esquema de los métodos de valoración ambiental.

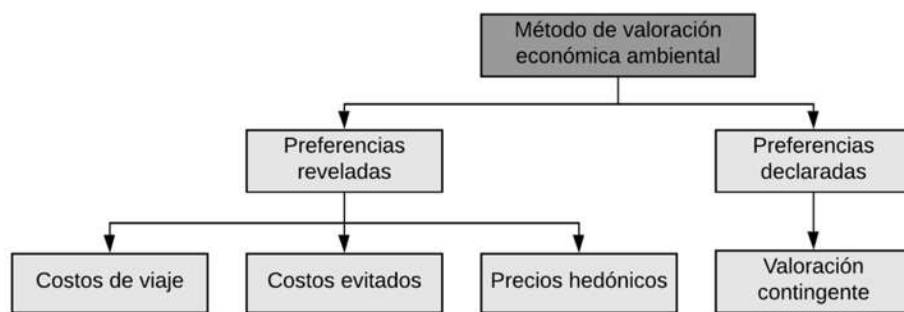


Figura 54. Esquema de los métodos de valoración económica de bienes y servicios ambientales. Tomado y editado de (Cristeche & Penna, 2008).

A continuación, se describe brevemente cada uno de estos métodos (Cerda, 2009; Cristeche & Penna, 2008; FAO, 2007; Sarmiento, 2004):

- Método de costos evitados o inducidos

Aplica cuando un bien o servicio ambiental no se comercia directamente, pero está en relación con un bien, servicio o unidad que sí lo sea. Dentro de este contexto se admiten dos posibilidades. La primera, es que el bien o servicio actúe como materia prima dentro de la función de producción de otro bien o servicio. O bien, que el bien o servicio ambiental junto con otros bienes, formen parte de la función de producción en la utilidad de un individuo o grupo.

- Método de costo de viaje

Se fundamenta en analizar la relación entre bienes y servicios privados con ambientales complementarios. Un ejemplo muy común es el aprovechamiento de servicios ambientales que provee un parque, reserva natural o bosque, en relación al consumo de bienes privados como costos (viaje, accesos), tiempo y estadía. Es un método muy útil para estimar nuevos costos y beneficios en accesos sobre desarrollo de actividades, eliminación de espacios naturales para proveer servicios ambientales, la creación de sitios y cambios en la calidad del ambiente.

- Método de los precios hedónicos

Se aplica para la estimación del valor económico de bienes y servicios del ambiente que

pueden afectar directamente los precios de mercado. Este método se caracteriza en que el bien ambiental es un atributo de un bien privado. La vivienda y el automóvil son ejemplos típicos de estos bienes.

- Método de valoración contingente

Es el único método directo o hipotético. Tiene como objetivo que la población declaren preferencias en base a un bien o servicio ambiental, en vez de estimar en base a conductas de mercado. Además, evalúa la función de demanda de un bien o servicio que no posee un mercado, ni tenga relación o complementariedad con otros bienes o servicios privados.

4.3.2. Análisis costo-efectividad

El análisis costo-efectividad (ACoE) es una herramienta que busca encontrar la mejor alternativa para reducir gastos en procesos o actividades, por ejemplo, mediante la intervención en la gestión de recursos de la cadena de valor, obteniendo el resultado ecoeficiente a medida deseado. El costo de efectividad de una propuesta se calcula dividiendo el costo anual total de la alternativa a medida deseada entre beneficios físicos, tales como: recuperación de animales o plantas, ahorro de emisiones generadas por un contaminante, acres tierras de cultivo recuperadas, entre otros (Görlach, 2007; Mejía, 2013). El principal objetivo de esta técnica es determinar la opción más eficiente a medida entre un escenario actual y un escenario propuesto. Esta herramienta es muy importante para identificar oportunidades de mejora y redireccionar los recursos para un mejor uso.

4.3.3. Análisis de costo-beneficio

El análisis de costo beneficio (ACB) es de utilidad para ayudar a tomar decisiones con fundamento con respecto de invertir en ciertas instalaciones, según el área. A través de esta técnica, se pueden implementar medidas de mitigación del cambio climático, mediante la reducción del consumo energético y/o agua, por ejemplo. Para que finalmente las industrias puedan ser más eficientes a medida y aumentar su resiliencia (DEAT, 2004).

El proceso para llevar a cabo el ACB estima tanto los beneficios como los costos por dos

razones. La primera, para determinar si el proyecto es viable, o si es una buena inversión. Y, por último, para comparar un proyecto de inversión junto con otro proceso competitivo y luego determinar cuál es más factible (de Rus, 2010). Existen distintas aplicaciones que se pueden llevar a cabo en el ACB, entre estos: evaluar la factibilidad de un proyecto, justificar la inversión de una nueva tecnología, determinar la forma más efectiva de reducir costos, entre otros (DEAT, 2004).

A continuación, se muestran una serie de pasos necesarios para aplicar un ACB (SLC, 2000):

- Obtener datos directos de producción o factores relacionados con cada decisión.
- Determinar costos relacionados para cada proceso. Existen gastos exactos como sueldos, pero otros deberán ser estimados.
- Sumar costos totales para cada caso.
- Determinar beneficios en dólares.
- Colocar costos y beneficios totales en relación donde el primero es el denominador y los beneficios el numerador.
- Comparar las relaciones para cada alternativa propuesta. Aquella solución en términos financieros es la que tiene la relación más alta beneficio a costo.

4.4. Metodología del análisis de costo-efectividad

4.4.1. Definición del escenario del problema

Mediante un diseño ecoeficiente a medida de la producción de huevo para plato en una granja de Tepatitlán, Jalisco, se puede llegar a presentar la reducción en el consumo energético en las operaciones productivas para cada etapa del sistema. Por ende, existe una disminución de emisiones de categoría de impacto asociadas. Además, los equipos que se propone sustituir permiten ser utilizados por varios ciclos productivos lo que reduce gastos, como es el caso de la iluminación. Sin embargo, se desconoce el bien ambiental y social que puede presentar dicha propuesta en relación al decremento energético e impacto ambiental, contra el escenario actual del proceso.

4.4.2 Objetivos del estudio de costo-efectividad

4.2.2.1. Objetivo general

Evaluar el bien ambiental y social en relación costo/efecto de un escenario ecoeficiente a medida, contra el escenario actual del sistema-producto en la producción de huevo para plato.

4.2.2.2. objetivos específicos

- Identificar costos y ahorros del escenario actual con respecto del escenario ecoeficiente.
- Comparar costos de ambos escenarios.
- Realizar el análisis costo-efectividad para ambos escenarios.

4.4.3. Descripción del estudio de costo-efectividad

En este estudio se tomó en cuenta el consumo energético de iluminación del estado actual contra el escenario ecoeficiente, para cada etapa del ciclo productivo de huevo. Se estimaron costos de equipo del escenario actual con base en los precios recientes; para el escenario ecoeficiente se utilizaron los costos de los equipos propuestos. Se seleccionó el cambio climático como categoría de impacto de ambos escenarios para estimar un valor económico y el costo de remediación de este.

Los pasos a seguir para llevar a cabo el análisis de costo-efectividad se muestran a continuación:

1. Generar un inventario del consumo energético de todo el sistema de ambos escenarios para cada etapa de producción de huevo.
2. Elaborar base de datos de equipos utilizados en iluminación para cada escenario de cada etapa, tomando en cuenta la cantidad de unidades, precio y sus características.
3. Tabular el inventario relacionado con la contribución ambiental por categoría de impacto para la iluminación.
4. Determinar y comparar el beneficio ambiental y social de ambos escenarios.

4.5. Desarrollo del análisis costo-efectividad en la producción de huevo

4.5.1. Inventario energético del sistema para la producción de huevo

Se llevó a cabo un inventario del consumo energético del ciclo productivo de la producción de huevo, mostrando el gasto en el escenario actual contra el escenario ecoeficiente (presentado en el Capítulo 3 de este trabajo). Se identificó que hubo una reducción casi del 50 % en promedio con la alternativa a medida del sistema-producto. Sin embargo, no sólo tiene significancia en la reducción de costos, también, en la disminución de gases como dióxido de carbono (CO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x), que involucra impactos, como el calentamiento global (Omer, 2014). En la Tabla 53 se muestran los gastos para cada etapa y escenario. Se identificó que el diseño ecoeficiente a medida del sistema-producto puede llegar a representar una reducción del 49.66 % en el consumo energético por ciclo productivo.

Tabla 53. Inventario del consumo energético para la producción de huevo en ambos escenarios.

Gasto energético por operación unitaria del sistema (KWh)	Escenario actual del proceso				Escenario ecoeficiente del proceso			Gasto energético total (KWh)	Reducción porcentual de la alternativa (%)
	Etapas del proceso			Gasto energético total (KWh)	Etapas del proceso				
	Cría	Desarrollo	Postura		Cría	Desarrollo	Postura		
Iluminación	582.74	272.16	5,443.20	6,298.1	225.75	105.84	2,116.80	2,448.39	-61.12
Bomba de agua	107.42	537.12	3,222.72	3,867.26	53.71	268.56	1,611.36	1,933.63	-50.00
Suministro de alimento	62.66	-	1,418.94	1,481.60	42	-	945	987	-33.38
Extracción de aire	2,961.40	-	-	2,691.40	1,984.50	-	-	1,984.50	-32.99
Total				14,608.36		Total		7,353.52	-49.66

4.5.2. Base de datos de los equipos utilizados en la iluminación según el escenario

Se seleccionó la iluminación como la operación unitaria para comparar el escenario actual contra el escenario ecoeficiente y determinar su beneficio ambiental y social. Lo anterior debido a que el flujo luminoso (lumen) forma parte importante de la función biológica de las aves para la producción de huevo. De acuerdo con la literatura, se requiere una iluminancia de al menos 5 lumen/m² (lux) para un óptimo nivel de producción (Mongeau, 2017). Entonces, una mayor iluminación a un costo menor es lo ideal. En la Tabla 54 se presenta una base de datos para la operación de iluminación, la cual se tomó para llevar a cabo el ACB. Se identificó que el equipo propuesto en el escenario ecoeficiente (EE), presenta cinco veces más horas de vida contra el escenario actual (EA), cumpliendo con el concepto ecoeficiente.

Tabla 54. Comparativa característica del equipo utilizado en la iluminación por etapa productiva.

Equipo de iluminación	Escenario actual del proceso				Escenario ecoeficiente del proceso				Diferencia porcentual de la alternativa (%)
	Etapas del proceso			Total	Etapas del proceso			Total	
	Cría	Desarrollo	Postura		Cría	Desarrollo	Postura		
Número de focos	125	432	360	917	125	432	360	917	-
Tiempo de la etapa (Semanas)	6	10	70	76	6	10	70	76	-
Consumo energético (KWh)	582.7 4	272.16	5,443.20	6,298.10	225.7 5	105.84	2,116.8	2,448.39	- 61.11
Horas de vida del producto		3,000		-		15,000		-	+500.00
Horas de uso	516	210	5,040	5,766	516	210	5,040	5,766	-
Potencia (Watt)		9		-		3.5		-	-61.11
Tecnología		Fluorescente		-		LED		-	-
lumen	8,125	28,080	23,400	59,605	43,750	151,200	126,000	320,950	+538.46
lux		6.97		-		37.58		-	+539.16

Ciclos de producción	-1.92	-	+2.60	-	-
Precio unitario (MXN)	35	32,095	75	68,775	+214.28

4.5.3. Contribución ambiental de acuerdo a la categoría de impacto en gasto energético

El gasto de insumos tanto energéticos como de materiales, está vinculado a impactos ambientales que pueden clasificarse por categoría de impacto en relación a la producción de huevo para plato. La evaluación de impacto ambiental se efectuó con el software SimaPro V 8.5, con el método “ReCiPe Midpoint V1.13/World ReCiPe H”. En la Tabla 55 se muestra la contribución ambiental por categoría de impacto significativo para los límites de este estudio.

Una vez obtenido el potencial de contribución de categorías de impacto en el consumo energético de la producción de huevo, se seleccionó el cambio climático como categoría de estudio para determinar el beneficio ambiental y social. La internalización de externalidades obtenidas en el escenario ecoeficiente, permitirá identificar actividades que compensen la huella de carbono por cada kg de CO₂ emitido.

Tabla 55. Potencial de contribución por categoría de impacto significativo de la producción de huevo para plato (Fuente: Propia).

Categoría de impacto	Escenario actual del proceso				Escenario ecoeficiente del proceso				Reducción porcentual de la alternativa (%)
	Etapas del proceso			Gasto energético total (KWh)	Etapas del proceso			Gasto energético total (KWh)	
	Cría	Desarrollo	Postura		Cría	Desarrollo	Postura		
	Contribución			Contribución					
Cambio climático (kg CO ₂ eq)	1.31x10 ⁻³	2.85 x10 ⁻⁴	3.55 x10 ⁻³	5.14 x10 ⁻³	4.59 x10 ⁻⁴	1.32 x10 ⁻⁴	1.64 x10 ⁻³	2.24 x10 ⁻³	-56.53
Toxicidad humana (kg 1,4-DB eq)	4.62 x10 ⁻⁴	1.01x10 ⁻⁴	1.26 x10 ⁻³	1.26 x10 ⁻³	1.62 x10 ⁻⁴	4.66 x10 ⁻⁵	5.82 x10 ⁻⁴	7.90 x10 ⁻⁴	-56.54
Ecotoxicidad de agua fresca (kg q,4-DB eq)	1.25 x10 ⁻⁵	2.73 x10 ⁻⁶	3.40 x10 ⁻⁵	3.40 x10 ⁻⁵	4.40 x10 ⁻⁶	1.26 x10 ⁻⁶	1.58 x10 ⁻⁵	2.14 x10 ⁻⁵	-56.54

Ecotoxicidad de agua marina (kg 1,4-DB eq)	1.14 x10 ⁻⁵	2.48 x10 ⁻⁶	3.40 x10 ⁻⁵	3.08 x10 ⁻⁵	3.98 x10 ⁻⁶	1.15 x10 ⁻⁶	1.43 x10 ⁻⁵	1.94 x10 ⁻⁵	-56.54
Uso de suelo agrícola (m2a)	4.99 x10 ⁻⁵	1.09 x10 ⁻⁵	1.35 x10 ⁻⁴	1.35 x10 ⁻⁴	1.75 x10 ⁻⁵	5.03 x10 ⁻⁶	6.27 x10 ⁻⁵	8.52 x10 ⁻⁵	-56.54
Uso de suelo natural (m2a)	2.34 x10 ⁻⁷	5.05 x10 ⁻⁸	6.30 x10 ⁻⁷	6.30 x10 ⁻⁷	8.34 x10 ⁻⁸	2.34 x10 ⁻⁸	2.92 x10 ⁻⁷	3.99 x10 ⁻⁷	-56.41
Agotamiento de recursos fósiles (kg crudo eq)	4.15 x10 ⁻⁴	9.01 x10 ⁻⁵⁵	1.12 x10 ⁻³	1.12 x10 ⁻³	1.47 x10 ⁻⁴	4.17 x10 ⁻⁵	5.20 x10 ⁻⁴	7.08 x10 ⁻⁴	-56.47

4.5.4. Potencial de contribución del cambio climático en la producción de huevo

La temperatura promedio de la tierra se ha estado amplificando desde la revolución industrial, reportando en el 2014 un aumento del 60% mayor de lo que se presentó en 1990 (WBG, 2014). En el año 2018, la NASA identificó que la temperatura global estaba 0.79°C por encima del promedio del siglo XX (NASA, 2019). La comunidad científica está convencida que este incremento es una consecuencia en la elevación de la concentración de gases de efecto invernadero (WMO., 2016), tales como el dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) y el metano (CH₄). De acuerdo con (Ekwurzel, Boneham, & Dalton, 2017) desde 1880 hasta el año del 2010, la concentración del CO₂ en la atmósfera ha pasado de 289.8 ppm a 388.4 ppm. De continuar con el aumento en las concentraciones de gases de efecto invernadero, se especula haber consecuencias con efectos significativos como el aumento del nivel del mar, cambios en los patrones naturales del clima, escasez de agua y comida, riesgo a la salud humana e impactos negativos en ecosistemas (Henderson & Reinert, 2018).

Ante el sector privado el cambio climático representa un camino de oportunidades y dificultades. Por un lado, se tiene la presión de la sociedad para generar regulaciones sobre la huella de carbono. Del otro lado, las acciones que toman los gobiernos para mitigar el cambio climático tienden a ser una amenaza económica para algunos sectores. Y es que, los efectos inmediatos a consecuencia de esta categoría de impacto, ya son amenazantes en mercados como la agricultura e infraestructura y construcción. Sin embargo, una ventaja comercial es que al realizar una mejora de un proceso con enfoque ecoeficiente permite su

certificación ambiental, obteniendo etiquetas útiles para posicionarse en el mercado. Actualmente cinco de cada 10 personas están dispuestas a pagar un poco más del precio sugerido, en productos y servicios amigables con el ambiente (Nielsen, 2015). Por ejemplo, la inversión en tecnologías de energías renovables, productos biodegradables o pesticidas orgánicos para cosechas.

La integración de la herramienta de evaluación de impacto ambiental por análisis ACV y la técnica de mejora continua mediante VSM para el proceso de producción de huevo para plato, permitió diseñar una propuesta ecoeficiente a medida del sistema. De acuerdo con los resultados obtenidos de la Tabla 55. Se identificó que, para las 1,800 t de huevo producidas en el ciclo productivo del proceso, la electricidad tiene una aportación de 9,252 kg CO₂ eq para el escenario actual. Mientras que el escenario ecoeficiente, tendría un potencial de 4,032 kg CO₂ eq.

Una vez calculadas las emisiones de CO₂ generadas en un proceso derivado de sus operaciones, e implementar las medidas de ahorro de insumo energéticos y de materiales necesarias, se identifica que hay actividades irremplazables, como fue el caso del insumo de alimento. Es aquí donde se debe compensar parcial o totalmente las emisiones emitidas con proyectos de compensación ambiental, como la plantación de árboles. En la Tabla 56 se muestran las actividades equivalentes por cada kg de CO₂ emitido, y se hace una comparación de las variables con respecto del escenario actual contra el escenario ecoeficiente del sistema de estudio.

Tabla 55. Beneficio ambiental obtenido comparando ambos escenarios de la producción de huevo para plato en actividades equivalentes a 1 kg CO₂. Fuente: (Palou, 2009; TFC, 2014).

Actividad	Equivalencia por 1 kg CO ₂	Potencial del escenario actual por actividad	Potencial del escenario ecoeficiente por actividad	Ahorro potencial de ambos escenarios (Beneficio ambiental/social)
Usar transporte público (km)	11	101,772.00	44,352	57,420
Volar en avión (km)	2.20	20,354.40	8,870	11,484
Manejar auto particular* (km)	6	55,512	24,192	31,320
Operar una computadora (h)	32	296,064	129,024	168,040
Porciones de arroz	12	111,024	48,384	62,640
Manzanas	30	277,560	120,960	156,600
Tazas de Té	424	3,922,848	1,709,568	2,213,280
Horas de luz*	282	2,609,064	1,137,024	1,472,040
Diesel (L)	2.34	21,649	9,434	12,215
Gas LP (L)	1.49	13,813	6,019	7,794
Petróleo crudo (L)	2.21	20,483	8,926	11,557

A partir de la comparación de los resultados tanto del escenario actual del sistema, como de la propuesta ecoeficiente, se puede obtener el beneficio ambiental del proyecto con base en el consumo energético de la producción de huevo para plato. La reducción de la energía esperada en el escenario ecoeficiente es de 54.40%, por lo tanto, se suponía que el beneficio ambiental por cada kg de CO₂ emitido por actividad equivalente tuviera una proporción próxima a este dato. En la Figura 55 se muestra gráfica comparativa del proceso de petróleo crudo.

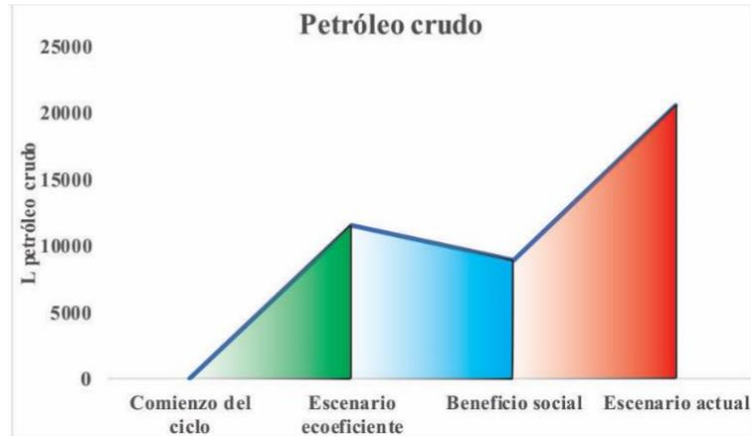


Figura 55. Beneficio ambiental del consumo de petróleo crudo de la propuesta ecoeficiente.

Un beneficio no está enfocado únicamente a lo ambiental y social, de hecho, antes para llegar a esta ventaja debe de existir una mejora en algún sistema, ya sea industrial o institucional, de intereses ajenas a la comunidad. Un ejemplo aplicado es el estudio actual, el cuál integró las herramientas de evaluación ambiental ACV y mejora continua VSM, en la producción de huevo para plato buscando reducir el gasto de insumos sin alterar el rendimiento del proceso. Permitiendo ofrecer una alternativa al proceso actual, como el reemplazo de tecnología en la iluminación de focos fluorescentes a LED en la granja, que pudo reducir insumos sin comprometer la productividad del sistema. Entre las ventajas que tienen los equipos LED es las horas de vida de uso del producto (como se observa en la Tabla 54), por tanto, en cada ciclo productivo la granja tiene que invertir 61,622.40 MXN para el escenario actual (focos fluorescentes). En el caso de la alternativa ecoeficiente (LED), se requiere una cantidad de 26,451.90 MXN, dejando un beneficio a la empresa de 42,323.40 MXN por ciclo (Figura 56), además del ahorro de emisiones y gastos operativos.



Figura 56. Beneficio interno en la iluminación del sistema de producción de huevo comparando el escenario actual vs la alternativa ecoeficiente (Fuente: propia).

4.6. Conclusión

De acuerdo con la Secretaría de Energía (SENER), el consumo anual per cápita del gasto de electricidad (kWh/hab) para el año 2017, fue de 2,103.99 (SE, 2019). Tomando en cuenta el beneficio energético que la alternativa ecoeficiente brindaría, se pudiera abastecer a 3.4 personas más por ciclo productivo en un periodo de un año. El cambio de tecnología a focos LED demostraría una reducción del 57 % en la inversión inicial para equipo de iluminación, además se recuperaría en los primeros ocho meses de producción, de los 19 que dura todo el ciclo de vida productivo. Una de las ventajas que se tendría al aplicar este diseño ecoeficiente, es que el sistema-producto puede llegar a cumplir requerimientos para etiquetado ambiental, aumentando la calidad del proceso, la aceptación de la población hacia la marca por reducir emisiones de efecto invernadero y el potencial de consumo/contribución. Asimismo, la estandarización de actividades y la generación de bases de datos facilita la importación de productos.

La integración de este tipo de técnicas para evaluación ambiental y mejora continua no se limita a ningún proceso, puede ser aplicado a industrias mecánicas, eléctricas, químicas, de equipos de transporte, alimenticias, textiles, de artes gráficas, papelería, entre otros. El beneficio ambiental obtenido de este estudio sería la reducción del 56 % en emisiones de cambio climático. Un ejemplo es el estudio realizado por (Vinodh et al., 2016) en la industria automotriz, dieron soluciones con enfoque ecoeficiente obteniendo reducciones en consumos

del 25 % en materiales, 19% en energía, 14 % en agua y 7 % en huella de carbono. Otro ejemplo es el presente estudio. Es importante señalar que hasta el momento y al mejor de mis conocimientos, son pocos los trabajos reportados que integran estas metodologías. Sin embargo, el valor agregado de este estudio fue un análisis económico para determinar el beneficio ambiental que presentaría la alternativa ecoeficiente derivada de la integración del ACV y VSM.

Como seguimiento para este trabajo, sería evaluar el potencial de impacto que el alimento presenta en la producción de huevo, buscando una alternativa a los ingredientes de las dietas para las aves que brinden los nutrientes necesarios para una adecuada producción. Posteriormente diseñar un plan de prevención y mitigación derivado al cambio de uso de suelo y gasto de recursos para la producción de granos. La integración de este tipo de metodologías podría ser la representación de cómo llevar a cabo la evaluación de un proyecto buscando un beneficio industrial y ambiental. Por ello, se sugiere llevar a cabo una revisión bibliográfica de los límites y nivel de integración de estudios de impacto económico-ambiental de procesos industriales a nivel mundial.

Bibliografía

- AENOR. (2006). AENOR: Norma UNE-EN ISO 14040:2006. *Http://Www.Aenor.Es/*. Retrieved from <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0038060#.WgSbEWjWzIU>
- Agrinews. (2016). ¿Que material es el mejor para hacer una buena cama en avicultura? | BM Editores. Retrieved November 3, 2017, from BMEditores website: <http://bmeditores.mx/que-material-es-mejor-para-hacer-una-buena-cama-en-avicultura/>
- Alonso, P. F. A., & Rodríguez, D. J. elizabeth. (2017). Situación de la Actividad Avícola Nacional. | BM Editores. Retrieved November 2, 2017, from <http://bmeditores.mx/situacion-actividad-avicola-nacional/>
- Arboleda, J. (2008). Manual de evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades. *Manual de Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos, Obras o Actividades*, 132. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Arq, A., & Gabriela, M. (2011). Evaluación De Impacto Ambiental. *Guía Metodológica Para La Elaboración De Una Evaluación De Impacto Ambiental, 2011*(Nº 17), 1–38. <https://doi.org/8484766438,9788484766438>
- Arroyo, A. (2014). *Análisis del Requerimiento Energético de una Granja Avícola Ingeniera Industrial Alejandra Arroyo Pitacua*.
- Avramovich, C., & Gallego, P. (2010). Externalidades Eficiencia y fallos del mercado. *Universidad Carlos III de Madrid*. Retrieved from <http://ocw.uc3m.es/economia/fundamentos-de-la-economia/material-de-clase-1/Economia7.pdf>
- Baltierra-trejo, E., Arroyo-pitacua, A., & Márquez-benavides, L. (2017). *Energy analysis and CO₂ eq emissions of chicken meat production Análisis energético y emisiones de CO₂ eq en la producción de carne de pollo Determination of GHG emissions by energy consumption*. 4(12), 571–577. <https://doi.org/10.19136/era.a4n12.1093>
- Barroeta, A. C., Izquierdo, D., & Perez, J. F. (2011). Manual De Avicultura. *Manual*, 35-

- 36–37. Retrieved from
[https://www.uclm.es/profesorado/produccionanimal/ProduccionAnimalIII/GUIA AVICULTURA_castella.pdf](https://www.uclm.es/profesorado/produccionanimal/ProduccionAnimalIII/GUIA%20AVICULTURA_castella.pdf)
- Blanca, R. (2003). El Análisis del Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental. *Dyna*, 1, 1–7. Retrieved from <http://www.unal.edu.co>
- Cabrera, C. R. C. (2015). VSM, Value Stream Mapping. *Lean Solutions*, 1–5. Retrieved from <https://eddymercado.files.wordpress.com/2013/05/analisis-del-mapeo-de-la-cadena-de-valor.pdf> <http://www.leansolutions.co/conceptos/vsm/>
- Callisto, M. (2008). Impacto ambiental. *Ecologia*, 1–12.
- Cederberg, C, Hedenus, F., Wirsenius, S., & Sonesson, U. (2013). Trends in greenhouse gas emissions from consumption and production of animal food products – implications for long-term climate targets. *Animal*, 7(02), 330–340. <https://doi.org/10.1017/S1751731112001498>
- Cederberg, C, Sonesson, U., Henriksson, M., Sund, V., & Davis, J. (2009). Greenhouse gas emissions from Swedish consumption of meat, milk and eggs 1990 and 2005. In *Report No 793*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.01.007>
- Cederberg, Christel, Berglund, M., & Sonesson, U. (2009). *Greenhouse Gas Emissions in Chicken Production*.
- CEGESTI. (2001). *Análisis del ciclo de vida*. Retrieved from [http://www.seguridadpublica.go.cr/ministerio/gestion ambiental/aprendamos/buenas practicas ambientales/Analisis-Ciclo-de-Vida.pdf](http://www.seguridadpublica.go.cr/ministerio/gestion%20ambiental/aprendamos/buenas%20practicas%20ambientales/Analisis-Ciclo-de-Vida.pdf)
- Cerda, A. (2009). Valoración económica del ambiente. *Facultad de Ciencias Empresariales. Universidad de Talca, Chile*. Retrieved from <https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/8/35988/ivaloracioncepal2009.pdf>
- Cristeche, E., & Penna, J. A. (2008). Métodos de valoración económica de los servicios ambientales. *Estudios Socioeconómicos de La Sustentabilidad de Los Sistemas de Producción y Recursos Naturales*, 3, 58.
- da Silva J., V. P., & R. A. F. de Alvarenga, S. R. S. (2008). Brazilian poultry : a study of production and supply chains for the accomplishment of a LCA study. *Assessment*.
- Damian, M., & Damian, M. (2016). *Métodos " ad hoc " Técnicas gráficas mediante mapas y superposiciones Metodologías de Evaluación de Impacto Ambiental Listas de*

- chequeo Matrices Diagramas*. 1–7.
- de Rus, G. (2010). Introduction to Cost-Benefit Analysis: Looking for Reasonable Shortcuts. In *Introduction to Cost-Benefit Analysis: Looking for Reasonable Shortcuts*.
- DEAT, D. of E. A. and T. (2004). *Cost Benefit Analysis*. Retrieved from https://www.environment.gov.za/sites/default/files/docs/series8_costbenefit_analysis.pdf
- Dekker, S. E. M., Boer, I. J. M. de, Aarnink, A. J. A., & Groot Koerkamp, P. W. G. (2008). Environmental hotspot identification of organic egg production. *6th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector, 2008-11-12/2008-11-14*, (ATV Farm Technology Animal Production Systems LR-Backoffice Livestock Research WIAS). Retrieved from <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/371129>
- Dekker, S. E. M., de Boer, I. J. M., Vermeij, I., Aarnink, A. J. A., & Koerkamp, P. W. G. G. (2011). Ecological and economic evaluation of Dutch egg production systems. *Livestock Science*, *139*(1–2), 109–121. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.011>
- Diaz del Castillo, R. F. (2009). La manufactura esbelta. *2009*, *6*, 1–36.
- DOF. (2017). Diario Oficial de la Federación.
- Dufour, J. (2011). Análisis de Ciclo de Vida: Herramienta para un desarrollo sostenible | Energía y Sostenibilidad. Retrieved December 12, 2017, from <http://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2011/07/11/131262>
- Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Shardul, A., Alexeyevich Bashmakov, I. G. B. (Argentina), Broome, J., ... Brunner, S. (2014). CAMBIO CLIMÁTICO 2014 Mitigación del cambio climático. *CAMBIO CLIMÁTICO 2014 Mitigación Del Cambio Climático*, 7–10. Retrieved from https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_es.pdf
- Ekwurzel, B., Boneham, J., & Dalton, M. W. (2017). *The rise in global atmospheric CO₂, surface temperature, and sea level from emissions traced to major carbon producers*. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-1978-0>
- Energía, I. (2017). Norma ISO-50001. Retrieved November 13, 2017, from Iniciativa energía website: <http://www.iniciativaenergia.mx/eficiencia-energetica/norma-iso-50001>
- FAO. (2007). Métodos de valoración económica. *La Situación de Los Recursos*

- Zoogenéticos Mundiales Para La Alimentación y La Agricultura*, 469–484. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a1250s/a1250s19.pdf>
- FAO. (2017). Global Livestock Environmental Assessment – Evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero y su potencial de mitigación. Retrieved November 18, 2017, from <http://www.fao.org/gleam/results/es/>
- Forumambiental, F. (1999). *Guía para la ecoeficiencia*. 1–79.
- Ghasempour, A., & Ahmadi, E. (2016). Assessment of environment impacts of egg production chain using life cycle assessment. *Journal of Environmental Management*, 183, 980–987. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.054>
- Gob.mx. (2017). Producción de huevo para plato | Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria | Gobierno | gob.mx. Retrieved October 8, 2017, from <https://www.gob.mx/senasica/galerias/sabias-que-mexico-es-principal-consumidor-de-huevo>
- Gob.mx, G. de la R. M. (2015). *Compromisos de mitigación y adaptación ante el cambio climático para el periodo 2020-2030*. 21. Retrieved from http://www.senado.gob.mx/comisiones/cambio_climatico/reu/docs/presentacion_290415.pdf
- Gobernación, S. de. (2013). ACUERDO por el que se expide la Estrategia Nacional de Cambio Climático. *Diario Oficial de La Federación*. Retrieved from http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5301093&fecha=03/06/2013
- Gobierno de la República. (2013). Estrategia Nacional de Cambio Climático. *Diario Oficial de La Federación*, 62.
- González-García, S., Gomez-Fernández, Z., Dias, A. C., Feijoo, G., Moreira, M. T., & Arroja, L. (2014). Life Cycle Assessment of broiler chicken production: A Portuguese case study. *Journal of Cleaner Production*, 74, 125–134. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.067>
- González, C. F. (2007). Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing). Principales Herramientas. *Revista Panorama Administrativo*, 1(2), 85–112.
- Goodwin, N. (2007). Internalizando externalidades: haciendo que los mercados y las sociedades funcionen mejor. *Opinión Sur*, (52), 1–6. Retrieved from http://ase.tufts.edu/gdae/Pubs/te/OpinionSur_NevaGoodwin_Dec07.pdf

- Görlach, B. (2007). Cost-effectiveness analysis (CEA). *Institute for Environmental Studies*, 2. Retrieved from http://www.ivm.vu.nl/en/Images/CBA10_tcm234-161546.pdf
- GreenHouse Gas Protocol. (2015). Global Warming Potential Values (AR5). *Greenhouse Gas Protocol, 2014(1995)*, 2–5. Retrieved from [http://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values \(Feb 16 2016\).pdf](http://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20(Feb%2016).pdf)
- Guevara, J. (2007). *Value Stream Mapping: una herramienta de observación para la transformación esbelta de los procesos*.
- Hans, J. (2015). Análisis del ciclo de vida. *Metodología Del Análisis Del Ciclo De Vida*, 37. Retrieved from <http://www.tdx.cat/bitstream/handle>.
- Henderson, P. R. M., & Reinert, S. A. (2018). *Climate Change in 2018 : Implications for Business*. (Mba 2016).
- Hernández, M. J. C., & Vizán, I. A. (2013). Lean Manufacturing: conceptos, técnicas e implementación. In *Fundación EOI*.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1108/17506200710779521>
- Hyland, D. (2010). Environmental Economics Volume 1 : The Essentials. *Environmental Literacy Council, 1*. Retrieved from http://www.rgvi.gtk.szie.hu/system/files/upload/course_material/enviroecon-vol1.pdf
- INEGI, I. N. de E. y G. (2014). Encuesta Nacional Agropecuaria 2014. Retrieved November 2, 2017, from <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/encagro/ena/2014/>
- INPROVO. (2015). Huevos de gallinas criadas en el suelo – Urban Snails. Retrieved November 4, 2017, from Urban Snails website:
<https://urbansnails.wordpress.com/tag/huevos-de-gallinas-criadas-en-el-suelo/>
- INPROVO, O. I. del H. y sus productos, ASEPRHU, A. española de productores de huevo, INOVO, A. española de industrias de ovoproductos, & IEH, I. de E. del H. (2007). *Manejo del Huevo y los Ovoproductos en la cocina* (Primera; I. de E. del H. IEH, Ed.). Retrieved from <http://institutohuevo.com/wp-content/uploads/2017/07/Manejo-del-huevo-y-los-ovoproductos-en-la-cocina.pdf>
- INSSBT, I. N. de S. S. y B. en el T. (2016). *Propiedades De Los Hidrocarburos Aromaticos · Hidrocarburos Aromaticos*. Retrieved from <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/Enciclopedia>

OIT/tomo4/104_07.pdf

- INTEFP, I. N. de T. E. y de F. del P. (2002). Factor de Potencia. *Ministró de Educación y Formación Profesional, Gobierno de España*. Retrieved from http://roble.pntic.mec.es/jsalinas/factor_potencia.pdf
- Kisan, M., Sangathan, S., Nehru, J., & Pitroda, S. G. (2006). म ा नक.
- Klink, F. A., & Alcántara, V. (2011). De la economía ambiental a la economía ecológica. In *Centro de Investigación de la Paz-ECOSOCIAL*. Retrieved from <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=IDEA.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mf=000286>
- Leinonen, I., Williams, A. G., Wiseman, J., Guy, J., & Kyriazakis, I. (2012). Predicting the environmental impacts of chicken systems in the United Kingdom through a life cycle assessment: Egg production systems. *Poultry Science*, 91(1), 26–40. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01635>
- Leyden. (1999). *El Factor De Potencia Y Su Compensacion En Instalaciones De Baja Tension*. 11. <https://doi.org/10.4135/9781446218372>
- Leyden. (2000). Compensación individual. Boletín Técnico. *LEYDEN*, 2–3.
- Lobato, M. B. (2012). *Análisis y mejora de los procedimientos de una empresa de ingeniería eléctrica*. 18–36.
- Lon-Wo, E. (2003). La producción avícola y la contaminación ambiental. *VIII Encuentro de Nutrición y Producción de Animales Monogástricos*, 29–34. Retrieved from http://avpa.ula.ve/eventos/viii_encuentro_monogastricos/memorias/conferencia-5.pdf
- López, G. R., Oliveros, G. G., Rubio, M. R., & Suárez, N. J. A. (2010). *Gestión de residuos radioactivos* (p. 87). p. 87. Retrieved from https://www.sne.es/images/stories/recursos/enuclear/pyr/CBCTN/cbctn_cap6.pdf
- Mejía, F. (2013). Una introducción al análisis económico : Costo Efectividad y Costo Beneficio. *Encuestas y Evaluación de Impacto En Políticas Públicas*. Retrieved from <http://pubdocs.worldbank.org/en/412081463422874348/Core-Sesion-4-Introduccion-a-Analisis-Costo-beneficio-y-Costo-efectividad-F-Mejia.pdf>
- Mijangos-Ricardez, O. F., & López Luna, J. (2013). Notas Metodologías para la identificación y valoración de impactos ambientales. *Instituto de Estudios*

- Ambientales, Universidad de La Sierra de Juárez, 17, 37–42. Retrieved from http://www.utm.mx/edi_anteriores/temas50/T50_2Notas1-MetodologiasparalaIdentificacion.pdf*
- MMARN, Mi. de M. A. y R. N. (2008). *Diagnostico Ambiental Del Subsector Avicola*. Retrieved from http://www.caftadr-environment.org/outreach/publications/3_DIAGNOSTICO_AMBIENTAL_DEL_SUBSECTOR_AVICOLA_.pdf
- Mollenhorst, D. H., Berentsen, P. B. M., & Boer, I. J. M. De. (2006). On-farm quantification of sustainability indicators: an application to egg production systems. *British Poultry Science, 47*(4), 405–417. <https://doi.org/10.1080/00071660600829282>
- Mongeau, B. E. (2017). Lighting Practices for Successful Laying Hens. *Valco, 1–10*.
- MotorCO. (2011). ¿Qué es mejor, el torque o los caballos? Retrieved November 1, 2018, from <http://www.motor.com.co/actualidad/tecnologia/mejor-torque-caballos/7741>
- NASA, N. A. and S. A. (2019). 2018 fourth warmest year in continued warming trend, according to NASA, NOAA. Retrieved May 14, 2019, from Global Climate Change: Vital Signs Of The Planet website: <https://climate.nasa.gov/news/2841/2018-fourth-warmest-year-in-continued-warming-trend-according-to-nasa-noaa/>
- Nielsen, C. (2015). Green Generation: Millennials Say Sustainability Is a Shopping Priority. Retrieved May 14, 2019, from <https://www.nielsen.com/> website: <https://www.nielsen.com/us/en/insights/news/2015/green-generation-millennials-say-sustainability-is-a-shopping-priority.html>
- Olivier, J. G. J. (PBL), Janssens-Maenhout, G. (EC-J., Muntean, M. (EC-J., & Peters, J. A. H. W. (PBL). (2016). Trends in Global CO2 Emissions: 2016 Report. *PBL Netherlands Environmental Assessment Agency & European Commission's Joint Research Centre (JRC)*, 86. Retrieved from http://edgar.jrc.ec.europa.eu/news_docs/jrc-2016-trends-in-global-co2-emissions-2016-report-103425.pdf
- Omer, A. M. (2014). *Energy use and environmental impacts : A general review Energy use and environmental impacts : A general review. 053101*(2009). <https://doi.org/10.1063/1.3220701>
- Oviedo-Rondón, E. O. (2009). *Ahorro energético en granjas avícolas*. Retrieved from

- http://www.wpsa-aeca.es/aeca_imgs_docs/ahorro_energetico_dr_edgar_oviedo_texto_46_symp_aeca.pdf
- Palou, N. (2009). Calculadora de equivalencias en emisiones de CO2. Retrieved from microsiervos website: <https://www.microsiervos.com/archivo/ecologia/calculadora-equivalencias-emisiones-co2.html>
- Pelletier, N. (2008). Environmental performance in the US broiler poultry sector: Life cycle energy use and greenhouse gas, ozone depleting, acidifying and eutrophying emissions. *Agricultural Systems*, 98(2), 67–73. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2008.03.007>
- Pelletier, N., Ibarburu, M., & Xin, H. (2014). Comparison of the environmental footprint of the egg industry in the United States in 1960 and 2010. *Poultry Science*, 93(2), 241–255. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03390>
- Pelletier, Nathan. (2017). Life cycle assessment of Canadian egg products, with differentiation by hen housing system type. *Journal of Cleaner Production*, 152, 167–180. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.050>
- Pelletier, Nathan, Ibarburu, M., & Xin, H. (2013). A carbon footprint analysis of egg production and processing supply chains in the Midwestern United States. *Journal of Cleaner Production*, 54, 108–114. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.04.041>
- Pérez, L. (2006). El mapeo del flujo de valor. *Contabilidad y Negocios*, 1, 41–44. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=281621764007>
- Piera, A. (2015). La Internalización de Externalidades Negativas en Materia de Medio Ambiente. Retrieved May 1, 2019, from Guanes, Heisecke & Piera website: <https://www.ghp.com.py/blog/la-internalizacion-de-externalidades-negativas-en-materia-de-medio-ambiente>
- Poultry Science Association. (2009). Research demonstrates effectiveness of trees and shrubs in reducing odors, dust and ammonia from poultry farms. Retrieved May 23, 2018, from <https://www.poultryscience.org/pr092809.asp>
- Prodintec. (2015). *Introducción al lean manufacturing*. Retrieved from [http://www.camara-ovi.es/documentos/aempresarial/LEAN_MANUFACTURING .pdf](http://www.camara-ovi.es/documentos/aempresarial/LEAN_MANUFACTURING.pdf)
- Reay, D., Sabine, C., Smith, P., & Hymus, G. (2007). Climate change 2007: Spring-time

- for sinks. In *Nature* (Vol. 446). <https://doi.org/10.1038/446727a>
- Regalado, H. J. (2005). Valoración de los bienes ambientales de la UDLA: Una aplicación a la Escuela de Ciencias Sociales. *Universidad de Las Americas Puebla (UDLAP)*. Retrieved from http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lec/regalado_h_j/capitulo2.pdf
- Rieznik, L. N., & Henández, A. A. (2005). Análisis del ciclo de vida. Retrieved December 12, 2017, from <http://habitat.aq.upm.es/temas/a-analisis-ciclo-vida.html#fntext-1>
- Rodríguez Becerra, M., & Mance, H. (2009). *Cambio climático: lo que está en juego*. <https://doi.org/Foro Nacional Ambiental>
- Ruiz-Suárez, L. G., & Núñez, X. C. (2004). Los gases de efecto invernadero y sus emisiones en México. In *Cambio climático una visión desde México*.
- SAGARPA. (2009). *Manual de Buenas Prácticas Pecuarias Producción de Huevo para Plato*. 5–128.
- SAGARPA. (2016). *México se consolida quinto lugar como productor de pollo y huevo a nivel mundial*. Retrieved from <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/2016/diciembre/Documents/JAC0513-26.PDF>
- SAGARPA, & SENASICA. (2016). *Manual de buenas prácticas pecuarias en la producción de huevo para plato. 2º edición*. Retrieved from http://oncesega.org.mx/archivos/Manual_de_Buenas_Prcticas_Pecuarias_de_Produccion_de_Huevo_Para_Plato_4.pdf
- Salgado, H., & González, C. (2015). Informe Final Estimación del Valor Económico Total (VET) de los Bienes y Servicios Ecosistémicos del Gran Ecosistema Marino de la Corriente de Humboldt (GEMCH). *CENTRO PARA LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL DE LA UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA (CSA-UPCH)*. Retrieved from http://humboldt.iwlearn.org/es/copy_of_ValorizacionGEMCH2015.pdf
- San, M., & Ruíz, S. (2015). *Mapeo de la cadena de valor*. 8.
- Sánchez, L. . (1999). As etapas iniciais do processo de avaliação de impacto ambiental. In: S. Goldenstein et alii, Avaliação de impacto ambiental. *Secretaria Do Meio Ambiente, São Paulo*, 35-55.

- Sarmiento, M. A. (2004). Valoración económica ambiental de servicios recreativos del lago Termas de río hondo, Santiago del estero. Método de valoración contingente vs costo de viaje. *Research*. <https://doi.org/10.13140/2.1.1715.2001>
- Scott, L. (2015). Environmental Value Systems. Retrieved from Dwight School London website: https://es.slideshare.net/_sdluca/11-environmental-value-systems
- SE, S. de E. (2019). Sistema de Información Energética. Retrieved May 28, 2019, from Dirección General de Planeación e Información Energéticas website: <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvecua=IE0C01>
- SEMARNAT. (2013a). Criterios de Evaluación | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Retrieved October 23, 2017, from <http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestion-ambiental/impacto-ambiental-y-tipos/criterios-de-evaluacion>
- SEMARNAT. (2013b). Impacto Ambiental y Tipos | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Retrieved October 22, 2017, from <http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestion-ambiental/impacto-ambiental-y-tipos>
- Semarnat, G. F. de M. (2009). Cambio Climático. Ciencia, evidencia y acciones. In *Serie ¿Y el medio ambiente?* Retrieved from http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/cambio_climatico_09-web.pdf
- SEMARNAT, & INECC. (2015). *Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. 287. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- SEMARNAT, S. de M. A. R. N. (2000). Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental. *Diario Oficial de La Federación 30 de Mayo Del 2000*, (1988), 1–29. Retrieved from http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGEEPA_MEIA_311014.pdf
- SIEMENS. (2018). El portafolio de motores eléctricos más amplio del mundo. *SIEMENS Services*. Retrieved from <https://www.siemens.com/content/dam/webassetpool/siemens/products/drives/regions/colombia/motores/Catálogo motores.pdf>
- Silva, J. V. P. da. (2011). *Effects of intensity and scale of production on environmental*

- impacts of poultry meat production chains: Life Cycle Assessment of french and brazilian poultry production scenarios*. (December 2011). Retrieved from <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/94857>
- SLC, S. L. para la C. (2000). Análisis Costo / Beneficio (Cost / Benefit Analysis). *Universidad de Quintana Roo*, 1–11. Retrieved from <http://sigc.uqroo.mx/Manuales/Institucional/Procedimientos/Secretaria General/Gestion Calidad/DGC-001/Metodologias/Costob.pdf>
- Sonesson, U., Cederberg, C., & Carlsson, B. (2008). *Livscykelanalys (LCA) av svenska ägg (ver.2)*. (783).
- Sostenible, M. (2001). *Análisis del ciclo de vida*. 1–8.
- Standard, I. (1997). *INTERNATIONAL assessment - Principles and framework. 1997*.
- Strategos. (2007). *Lean Briefing*. Retrieved from <http://www.strategosinc.com/value-stream-mapping-4.htm>
- TDR, T. D. en R. (2009). *Metodologías de evaluación del impacto ambiental*. 39–114. Retrieved from <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6830/04LagI04de09.pdf>
- TFC, T. or. (2014). What is a carbon footprint - definition. *Inventorcloud.Net*, 6–9. Retrieved from http://www.inventorcloud.net/teamup/files/ICDT_ES/articles 2014/7.2 Time for change.pdf
- UAP, U. A. P. (2012). Transporte de Pollitas. *Facultad de Ciencias Agropecuarias. Escuela de Medicina Veterinaria, 91*, 1–9.
- ULPGC, U. D. L. G. C. (2015). Nutrición animal. Retrieved June 22, 2018, from <http://www.webs.ulpgc.es/nutranim/tema20.htm>
- UNA, U. N. de A. (2016). *Compendio de Indicadores Económicos. Sector Avícola. Edición 2016*. Retrieved from <http://redmedia.com/notas/3284/compendio-indicadores-economicos-sector-avicola>
- UNA, U. N. de A. (2019). Situación de la Avicultura Mexicana. Retrieved August 14, 2019, from Unión Nacional de Avicultores website: <http://www.una.org.mx/index.php/component/content/article/15-panorama/3-avicultura>
- UPM, U. P. de M. (2015). 6.1 Tipos de alojamientos para reproductoras en fase de puesta — OCW UPM - OpenCourseWare de la Universidad Politécnica de Madrid. Retrieved

- November 3, 2017, from Open Course Ware website: http://ocw.upm.es/produccion-animal/produccion-avicola/contenidos/TEMA_6/6-1-tipos-de-alojamientos-para-reproductoras-en-fase-de-puesta/view
- Vega, C. M. C. (2016). “ *Análisis del Gasto Energético de Granjas Productoras de Huevo y su Contribución a la Emisión de Gases de Efecto Invernadero .*”
- Verge, X. P. C., Dyer, J. A., Desjardins, R. L., & Worth, D. (2009). Long-term trends in greenhouse gas emissions from the Canadian poultry industry. *The Journal of Applied Poultry Research*, 18(2), 210–222. <https://doi.org/10.3382/japr.2008-00091>
- Vinodh, S., Ben Ruben, R., & Asokan, P. (2016). Life cycle assessment integrated value stream mapping framework to ensure sustainable manufacturing: A case study. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18(1), 279–295. <https://doi.org/10.1007/s10098-015-1016-8>
- WBG, W. B. G. (2014). Turn Down The Heat: Confronting The New Climate Normal. *International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank*, 92704 V2. Retrieved from <http://documents.worldbank.org/curated/en/317301468242098870/pdf/927040v20WP0000ull0Report000English.pdf>
- Wiedemann S.G., M. E. J. (2011). *Environmental Assessment of an Egg Production Supply Chain using Life Cycle Assessment.*
- Williams, A. G., Audsley, E., & Sandars, D. L. (2006). Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities. Main report. *Main Report. Defra Research Project IS0205. Bedford: Cranfield University and Defra. Available on [www.Silsoe.Cranfield.Ac.Uk](http://www.silsoe.cranfield.ac.uk), and www.Defra.Gov.Uk*, (Defra Research Project IS0205), 97 pp. Retrieved from www.silsoe.cranfield.ac.uk www.defra.gov.uk
- Williams, C. M. . (2011a). Gestión de residuos de aves de corral en los países en desarrollo. *Revisión Del Desarrollo Avícola*, 1-5pp. <https://doi.org/978-92-5-308067-0> (PDF)
- Williams, C. M. . (2011b). Gestión de residuos de aves de corral en los países en desarrollo. *Revisión Del Desarrollo Avícola*, 1-2pp. <https://doi.org/978-92-5-308067-0> (PDF)
- Williams, C. M., & Carolina, N. (2011). Gestión de residuos de aves de corral en los países en desarrollo. *Revisión Del Desarrollo Avícola*, 1–5. Retrieved from

<http://www.fao.org/docrep/016/al718s/al718s00.pdf>

WMO. (2016). WMO Greenhouse Gas Bulletin | World Meteorological Organization.

WMO Bulletin, 2015, 1–4. <https://doi.org/ISSN 2078-0796>

Cronograma de actividades

Actividades	Primer año												Segundo año											
	Semestre																							
	1						2						3						4					
	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Revisión bibliográfica																								
Conceptualización																								
Definición del tema																								
Delimitación del tema																								
Revisión de escrito																								
Trabajo de escrito a consejo de tesis																								
Defensa de examen oral																								
Trabajo de campo																								
Recolección de datos																								
Uso de software																								
Interpretación de resultados																								
Congresos																								
Trabajo terminado																								
Requisitos de titulación																								
Defensa de examen final																								

MCIA 2017-2019

||