



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
(INGENIERIA AMBIENTAL-RESIDUOS SÓLIDOS)

EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN AMBIENTAL DEL BANCO DE MÉXICO

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:

ING. MARTIN DANILO GOMEZ SANCHEZ

TUTOR PRINCIPAL

DRA. LEONOR PATRICIA GUERECIA HERNANDEZ
INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM

COMITÉ TUTOR

DR. JUAN MANUEL MORGAN
INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM

DR. ENRIQUE CESAR VALDEZ
FACULTAD DE INGENIERIA

Ciudad de México

agosto 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO

Presidente: DR. ROLANDO CHAMY MAGGI

Secretario: DR. ENRIQUE CÉSAR VALDEZ

1 er. Vocal: DR. CARLOS ANTONIO CABALLERO VALDÉS

2 do. Vocal DR. JUAN MANUEL MORGAN SAGASTUME

3 er. Vocal DRA. LENOR PATRICIA GÜEREC A HERNÁNDEZ

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Instituto de Ingeniería, UNAM

TUTOR DE TESIS

DRA. LEONOR PATRICIA GÜEREC A HERNÁNDEZ

FIRMA

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Justificación	2
1.2. Preguntas de Investigación	3
1.3. Hipótesis	3
1.4. Objetivos	3
CAPÍTULO 2	4
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Sistemas de gestión ambiental	7
2.2. Normas de apoyo a los SGA	10
2.3. Análisis de Ciclo de vida-ACV	17
2.4. Análisis de Ciclo de Vida Organizacional (ACV-O)	19
CAPÍTULO 3	29
3. METODOLOGIA	29
3.1. Objetivo del ACV-O	30
3.2. Alcance del ACV-O	30
3.3. Funciones del sistema	30
3.4. Enfoque de consolidación	30
3.5. Límites del sistema	31
3.6. Calidad de los datos	31
3.7. Uso de criterios de priorización	31
3.8. Unidad de reporte organizacional	39
3.9. Metodología para la evaluación de impacto	39
3.10. Elección de las categorías de impacto e indicadores	40
3.11. Software utilizado	58
3.12. Calidad de datos	58
3.13. Procedimiento de recopilación de datos	58
3.14. Consideraciones del estudio	59
CAPÍTULO 4	61
4. INVENTARIO	61
4.1. Actividades indirectas (Corriente arriba)	61
4.2. Actividades directas	65

4.3.	Actividades indirectas (corriente abajo)	89
CAPÍTULO 5.		91
5.	EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE CICLO DE VIDA ORGANIZACIONAL.	91
5.1.	Ocupación agrícola	99
5.2.	Cambio climático	100
5.3.	Agotamiento de combustibles fósiles	102
5.4.	Eutrofización de agua dulce	103
5.5.	Toxicidad humana	104
5.6.	Agotamiento de minerales	106
5.7.	Agotamiento de la capa de ozono	107
5.8.	Formación de oxidantes fotoquímicos	108
5.9.	Acidificación terrestre	110
5.10.	Eco toxicidad terrestre	111
5.11.	Agotamiento de agua	112
CAPÍTULO 6		114
6.	COMPARACIÓN DE INDICADORES DEL COMPLEJO LEGARIA CON INDICADORES DE LA CIUDAD DE MÉXICO	114
6.1.	Cambio Climático	114
6.2.	Residuos Sólidos	118
6.3.	Descargas de agua residual.	119
CAPÍTULO 7		120
7.	PROPUESTAS DE MEJORA	120
7.1.	Propuestas de mejora para los procesos de distribución aérea, terrestre de billetes y transporte de residuos peligrosos	121
7.2.	Propuestas de mejora para la disposición final de los residuos de papel de alta durabilidad y papel de oficina	125
7.3.	Propuestas de mejora para el consumo de carne	127
7.4.	Propuestas de mejora para el proceso de obtención de energía eléctrica (mix eléctrico de México)	128
7.5.	Propuestas de mejora para el comedor del área de servicios auxiliares y de administración	131
CAPÍTULO 8		135
8.	CONCLUSIONES	135
BIBLIOGRAFÍA		139
		IV

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Modelo de un sistema de gestión ambiental para las normas ISO. Fuente: ISO 14001. (2015)	7
Figura 2 Interrelaciones entre la dirección y las operaciones de una organización con la condición ambiental. ISO 14031 (2008).	12
Figura 3 Diferentes tipos de IDO. Alzate (2005).	13
Figura 4. Diferentes tipos de IDG e ICA. Alzate (2005).....	13
Figura 5. Diferencias y similitudes entre las normas ISO 14031 e ISO 14001	15
Figura 6. Fases de análisis de ciclo de vida. Fuente ISO 14040/44 (2006).....	17
Figura. 7 Consolidaciones del método para estudios de ACV-O. (Martínez et al 2015).	22
Figura 8. Fronteras del ACV-O por actividades directas e indirectas. (Martinez et al 2015).	23
Figura 9. Enfoques de ACV-O en Organizaciones. Guidance on Organizational Life Cycle Assessment (2015).....	24
Figura 10. Construcción de inventario para análisis de ciclo de vida Organizacional. (ISO, 14072).	28
Figura 11. Metodología para la evaluación del desempeño ambiental del Complejo Legaria.	30
Figura 12. . Límites del sistema de ACV-O del Complejo Legaria.	32
Figura 13. Procesos involucrados en la fabricación de los billetes en el Banco de México. (Luján Cristina 2015).	34
Figura 14. Impactos ambientales por actividades del Complejo Legaria	92
Figura 15. Impactos ambientales detallados por actividades directas e indirectas.....	95
Figura 16. Impactos ambientales por áreas del Complejo Legaria.....	97
Figura 17. Resultados de impacto ambiental para la categoría de ocupación agrícola	99
Figura 18. Resultados de impacto ambiental para la categoría de cambio climático	100
Figura 19. Resultados de impacto ambiental para la categoría de agotamiento de combustibles fósiles.....	102
Figura 20. Resultados de impacto ambiental para la categoría de eutrofización de agua dulce.	103
Figura 21. Resultados de impacto ambiental para la categoría de toxicidad humana.	104
Figura 22. Resultados de impacto ambiental para la categoría de agotamiento de recursos minerales.....	106
Figura 23. Resultados de impacto ambiental para la categoría de agotamiento de la capa de ozono.	107
Figura 24. Resultados de impacto ambiental para la categoría de formación de oxidantes fotoquímicos.	108
Figura 25. Resultados de impacto ambiental para la categoría de acidificación terrestre. .	110
Figura 26. Resultados de impacto ambiental para la categoría de ecotoxicidad terrestre. .	111
Figura 27. Resultados de impacto ambiental para la categoría de agotamiento de agua. ..	112

Figura 28. Contribución porcentual por categoría al inventario de GEI de la Ciudad de México en el año 2012. SEDEMA. (2012).	115
Figura 29. Costos asociados al consumo de diésel y dual fuel (gas natural y diésel). (Deloitte Touche Tohmatsu Limited, 2014)	121
Figura 30. Emisiones expresadas en CO ₂ eq generadas a partir del consumo de diferentes tipos de combustibles. (Deloitte Touche Tohmatsu Limited, 2014).	123
Figura 31. Panel fotovoltaico ERDM320M6	129
Figura 32. Ahorro proyectado por instalación de paneles fotovoltaicos para dar suministro a consumo total del Complejo Legaria.	130
Figura 33. Ahorro proyectado por instalación de paneles fotovoltaicos para dar suministro al 11% del consumo.	131
Figura 34. Paneles fotovoltaicos para suministro de los equipos eléctricos del área de comedor	133

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sinergias entre las normas ISO 14001 e ISO 14004.	10
Tabla 2. Ventajas y desventajas de las normas ISO 14001 e ISO 14031.	16
Tabla 3. Módulos que conforman el Complejo Legaria de Banco de México de acuerdo a la clasificación de la cédula de operación anual (COA) del año 2013.	35
Tabla 4. Categorías de impacto elegidas para el ACV-O del Complejo Legaria.	40
Tabla 5. Potenciales de Calentamiento Global relacionados con el CO ₂	46
Tabla 6. Esquema general de la formación de oxidantes fotoquímicos	54
Tabla 7. Asignación de las emisiones, descargas y residuos por módulo, en porcentaje.	59
Tabla 8. Procesos incluidos en el ciclo de vida organizacional para el billete de algodón AD.	61
Tabla 9. Procesos incluidos en el ciclo de vida organizacional para el billete de polímero.	63
Tabla 10. Procesos para el transporte de insumos de punto de origen a Complejo Legaria.	64
Tabla 11. Materiales de entrada y salida del módulo de impresión de billete.	65
Tabla 12. Materiales de entrada y salida del módulo de fotografía.	69
Tabla 13. Materiales de entrada y salida del módulo de fotograbado.	70
Tabla 14. Materiales de entrada y salida del módulo de planchas calcográficas.	72
Tabla 15. Materiales de entrada y salida del módulo de acondicionamiento de tintas.	75
Tabla 16. Materiales de entrada y salida del módulo de fabricación de rodillos	77
Tabla 17. Materiales de entrada y salida del módulo de mantenimiento.	79
Tabla 18. Materiales de entrada y salida para el módulo de servicios auxiliares y de administración	82
Tabla 19. Materiales de entrada y salida del módulo de procesamiento de billete	89
Tabla 20. Materiales de entrada de distribución.	89
Tabla 21. Materiales de entrada y salida de disposición final.	90
Tabla 22. Impactos porcentuales obtenidos por actividades directas e indirectas.	93
Tabla 23. Impactos ambientales de actividades directas e indirectas por categoría ambiental.	94
Tabla 24. Impactos ambientales por actividades directas e indirectas por categoría ambiental.	96
Tabla 25. Resultados por etapas y módulos sobre los cuales la organización tiene influencia y control.	98
Tabla 26. Comparación de las emisiones de CO ₂ eq para diferentes Bancos Centrales. ...	101
Tabla 27. Emisiones totales de Gases de Efecto Invernadero, Distrito Federal-2012. SEDEMA. (2012).	116
Tabla 28. Plantas de tratamiento de aguas presentes en la Delegación Miguel Hidalgo (Conagua, 2014)	119
Tabla 29. Materiales y procesos que generan los impactos mas repetitivos en cada una de las categorías evaluadas.	120
Tabla 30. Comparación técnica y económica de la operación de un mismo modelo de vehículo de transporte de mercancía pesada que opera con gasóleo y dual-fuel (Deloitte Touche Tohmatsu Limited, 2014).	122

Tabla 31. Estimación del carbono capturado por tipo de especie de árbol. (Schlegel B et al, 2001).....	125
Tabla 32. Capacidad de absorción de CO ₂ por edad y tipo de especie de Eucalyptus y Pinus. (Schlegel B et al, 2001)	125
Tabla 33. Relación de carbono y nitrógeno de algunos residuos y productos animales y vegetales. (SEGARPA, 2014).	126
Tabla 34. Plantas de Composta en la Ciudad de México	126
Tabla 35. Escenarios propuestos para el cambio de tecnología en el área de cocina de Complejo Legaria.	132
Tabla 36. Consumo eléctrico de los equipos propuestos en el escenario 2.	133
Tabla 37. Consumo eléctrico y de gas natural de los escenarios 1,2,3 y 4.....	134
Tabla 38. Factores de emisión para la estimación de los kg de CO ₂ eq por uso de combustibles y electricidad.	134
Tabla 39. Kg de CO ₂ eq generados por los diferentes escenarios propuestos en el comedor	134

RESUMEN

El presente trabajo de tesis evaluó el desempeño ambiental del Complejo Legaria del Banco de México a través de 11 indicadores ambientales utilizando el enfoque de análisis de ciclo de vida para determinar los impactos ambientales asociados a las actividades de la organización.

El estudio aplica la metodología de Análisis de Ciclo de Vida Organizacional de acuerdo a la norma ISO 14072 y a la guía de Organizational Life Cycle Assessment de las Naciones Unidas y la Sociedad Ambiental de Toxicología y Química.

La evaluación del desempeño ambiental tuvo en cuenta el ciclo de vida del producto principal (billetes de todas las denominaciones) y los insumos que abastecen a cada uno de los 9 módulos que conforman la organización (acondicionamiento de tintas, fotografía, mantenimiento, planchas calcográficas, fotograbado, fabricación de rodillos, impresión de billete, servicios auxiliares y de administración y proceso de billete) teniendo en cuenta las etapas de extracción de materias primas, manufactura, transporte, disposición final, así como la electricidad y consumo de combustibles utilizados en cada uno de los procesos, los residuos generados y el transporte a confinamiento.

Las categorías de impacto evaluadas fueron ocupación de suelo agrícola, cambio climático, agotamiento de combustibles fósiles, eutrofización de agua dulce, toxicidad humana, agotamiento de minerales, agotamiento de la capa de ozono, formación de oxidantes fotoquímicos, acidificación terrestre, eco toxicidad terrestre y agotamiento de agua, las cuales se modelaron de acuerdo al método ReCiPe 1.08 con el apoyo del software Umberto NXT LCA v7.1 y la base de datos de Ecoinvent v3.1.

Los resultados más relevantes mostraron que las actividades de extracción de materias primas, distribución y disposición final de los sustratos de billete (polímero y algodón), generaron los mayores impactos ambientales en todo el ciclo de vida organizacional del Complejo Legaria. La primera actividad generó impactos en 9 categorías ambientales (agotamiento de la capa de ozono, cambio climático, agotamiento de combustibles fósiles, eutrofización de agua dulce, agotamiento de minerales, reducción de la capa de ozono, acidificación terrestre, eco toxicidad terrestre y agotamiento de agua), mientras que en las actividades de distribución y disposición final impactaron en 1 categoría respectivamente (reducción de la capa de ozono para el primer caso y formación de oxidantes fotoquímicos para el segundo caso).

Por otro lado los impactos ambientales en donde Complejo Legaria posee control y ejerce influencia reflejaron que las actividades de distribución generaron los mayores impactos ambientales en 4 de las 11 categorías evaluadas (cambio climático, agotamiento de combustibles fósiles, reducción de la capa de ozono y acidificación terrestre), le siguieron el módulo de servicios auxiliares y de administración con 3 categorías (ocupación de suelo agrícola, eco toxicidad terrestre y agotamiento de agua) y por último la actividad de disposición final con dos categorías (toxicidad humana y formación de oxidantes fotoquímicos).

El presente documento se estructura de la siguiente forma:

Capítulo 1: En este capítulo se realiza una introducción de la evolución histórica de los sistemas de gestión ambiental en el mundo así como la justificación, preguntas de investigación, hipótesis y objetivos de tesis.

Capítulo 2: Se presentan los antecedentes de los sistemas de gestión ambiental y las metodologías empleadas para la evaluación del desempeño ambiental en organizaciones, entre los que se destacan las normas ISO 14001-04 (sistemas de gestión ambiental), 14031 (evaluación del desempeño ambiental), 14040-44 (análisis de ciclo de vida), ISO 14072 (análisis de ciclo de vida organizacional).

Capítulo 3: Se establece el objetivo y alcance del ciclo de vida organizacional para el presente estudio así como la función del sistema, límites del sistema, unidad de reporte, categorías de impacto, datos utilizados para la modelación de las categorías de impacto, procedimiento de recopilación de datos y consideraciones del estudio.

Capítulo 4: En este capítulo se describe los procedimientos utilizados para la construcción de los inventarios del ciclo de vida organizacional teniendo en cuenta las entradas y salidas de los 9 módulos analizados.

Capítulo 5: Se describen cada una de las categorías de impacto evaluadas así como las consideraciones a tener en cuenta para expresar los resultados en indicadores de impacto ambiental.

Capítulo 6: Se comparan los resultados obtenidos del Complejo Legaría con indicadores de la Ciudad de México relacionados con emisiones atmosféricas, generación de residuos y descargas de agua residual.

Capítulo 7: En este capítulo se describen 5 propuestas de mejora para los materiales y procesos que generan los mayores impactos ambientales en la organización y sobre los cuales se debe trabajar para mejorar el desempeño ambiental del Complejo Legaría.

Capítulo 8: Se presentan las conclusiones de la evaluación del desempeño ambiental del Complejo Legaría estableciendo que gran parte de los impactos ambientales generados por la organización, ocurren en las actividades indirectas. Así mismo se establece que gran parte de los impactos directos son por uso de energía y consumo de insumos como la carne de res en las instalaciones físicas del Complejo.

Agradecimientos

- ✓ A Dios quien me dio fortaleza para superar los retos del camino.
- ✓ A la Doctora Leonor Patricia Güereca por su apoyo incondicional en el desarrollo de esta tesis y por la calidad de ser humano que la caracteriza.
- ✓ Al Banco de México por proporcionar la información necesaria para la realización de este proyecto.
- ✓ Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la realización de mis estudios.
- ✓ A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y al Instituto de Ingeniería por abrirme sus puertas para mi desarrollo académico y profesional.
- ✓ A mi familia que siempre estuvo brindándome los consejos de fortaleza aún en la distancia.
- ✓ A cada una de las personas que aportaron su tiempo y esfuerzo al desarrollo de este proyecto.
- ✓ A mis amigos de la Universidad quienes hicieron más amena mi maestría.
- ✓ A México

Capítulo 1

1. INTRODUCCIÓN

Los productos y servicios que se consumen en la actualidad, en su mayoría pasan por procesos industriales que necesitan recursos naturales como fuente de materia prima que al ser transformada, genera algún tipo de contaminación al aire, agua y suelo que debe ser cuantificada y evaluada a través de indicadores ambientales.

Así mismo la demanda de productos hace que cada vez sea creciente el número de fábricas que manufacturan bienes y prestan servicios dirigidos a satisfacer las necesidades del hombre; dichos bienes y servicios son adquiridos a través de dinero que circula por medio de monedas y billetes y que son fabricados por bancos centrales.

Entre las funciones de los bancos centrales se encuentran el diseño de la política monetaria de un país, la emisión de dinero legal, la distribución del dinero y su destrucción. Como una organización compleja los bancos centrales utilizan recursos y generan contaminación que puede ser cuantificada y evaluada utilizando el enfoque de Análisis de Ciclo de Vida.

Estudios realizados por Pratt (2001), reflejaron que los compromisos ambientales de los bancos comerciales en áreas relacionadas con la dirección, planeamiento y seguimiento del desempeño ambiental, el 90% no había analizado su desempeño ambiental; y de ese 90%, el 70% no tenía planes ni objetivos de vincular la dimensión ambiental en sus operaciones. De igual manera, el 10% de los bancos comerciales que habían adoptado procedimientos relacionados con el ambiente lo habían hecho a través de la gestión ambiental interna.

Por otro lado, los estudios de desempeño ambiental realizados en bancos centrales (Banco de la Reserva Australiana, Banco de Suiza, Banco Central Europeo, Banco de Canadá, de la reserva de India y Banco de México), se han enfocado al análisis de ciclo de vida de billetes a través de la aplicación de las metodologías de ACV para productos (ISO 14040 y 14044); vinculando exclusivamente los procesos de producción y no áreas auxiliares y de administración.

En Latinoamérica, el Banco de la República en Colombia, realizó un estudio en donde se evaluó el desempeño ambiental de las sucursales regionales y agencias culturales de la organización empleando la metodología de Global Reporting Initiative la cual evalúa las emisiones de contaminantes al aire, agua y suelo de las instalaciones (Banco de la República, 2013).

Por otra parte, el Banco de México comprometido con la sostenibilidad y atendiendo las metas que en materia de desempeño ambiental y cambio climático se ha fijado identifica la

necesidad de realizar un estudio en donde se evalúe el desempeño ambiental del Complejo Legaria, tomando en cuenta todos los insumos, energía y agua que abastecen a cada una de las áreas y departamentos de la organización, así como la contaminación generada al aire, agua y suelo.

Teniendo en cuenta lo anterior, a través de este proyecto se busca evaluar el desempeño ambiental del Complejo Legaria de Banco de México utilizando el enfoque de análisis de ciclo de vida organizacional con el objetivo de proponer estrategias de mejora relacionadas con las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), consumo de agua, consumo de energía, generación de residuos y descargas de agua residual. Lo anterior permitirá proponer estrategias de mejora ambiental para las instalaciones del Complejo Legaria que lleven al Banco de México a transitar hacia la sostenibilidad.

1.1. Justificación

Los Bancos Centrales, como cualquier tipo de organización, consumen recursos y generan residuos e impactos ambientales que deben ser cuantificados y evaluados; así mismo, los bancos se dividen en áreas, departamentos o módulos que tienen funciones específicas, consumen diferentes productos y provocan impactos ambientales de forma independiente. De esta manera es conveniente identificar qué áreas o departamentos están generando los mayores impactos dentro del Complejo Legaria, con un enfoque de Análisis de Ciclo de Vida Organizacional (ACV-O).

Teniendo en cuenta lo anterior, es importante aclarar que ACV-O es una metodología estandarizada por ISO 14072 y reconocida por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Sociedad Ambiental de Toxicología y Química. Esta metodología amplía la aplicación del ACV a organizaciones; de esta forma el ACV-O evalúa todas las entradas y salidas de una organización de acuerdo a la provisión de su cartera de productos.

Esta tesis evalúa el desempeño ambiental del Complejo Legaria con un enfoque de ciclo de vida más amplio, donde no solo se tiene un alcance puerta a puerta para la obtención de indicadores ambientales sino que también evalúa lo que se encuentra corriente arriba (up-stream), es decir, los procesos de fabricación y distribución de los insumos antes de llegar a Complejo Legaria; corriente abajo (down-stream), que se refiere a las actividades realizadas después de los procesos de manufactura de billete; y actividades directas, que se refieren a las actividades que se realizan dentro de las instalaciones físicas del Complejo Legaria. Dicho de otra manera no solo se evalúan los impactos ambientales que se genera en las instalaciones físicas del Complejo sino que también se considera los impactos ambientales que se generan en las actividades indirectas de la organización.

Por lo tanto ACV-O es una herramienta muy útil para la determinación de los impactos ambientales de los departamentos o módulos de una organización de forma más precisa,

logrando con ello direccionar de mejor manera los recursos humanos y económicos al mejoramiento del desempeño ambiental de las áreas más relevantes.

1.2. Preguntas de Investigación

¿Qué actividades del Complejo Legaría generan los mayores impactos ambientales?

¿Cómo reducir los impactos ambientales relacionados con las emisiones de GEI originados por el uso de energía dentro del Complejo Legaria?

1.3. Hipótesis

Las actividades de distribución de billetes, disposición final y consumo de electricidad, generan los mayores impactos ambientales en el Complejo Legaria.

Los impactos ambientales originados a partir del uso de energía en las instalaciones físicas del Complejo Legaría pueden ser reducidos en un 40%, mediante la aplicación de métodos de gestión energética (cambio de luminarias, instalación de sensores de luz en pasillos de población flotante, ampliación de ventanales para aprovechamiento de luz solar, paredes de color blanco, modernización de equipos, etc. y en un 100% con la instalación de tecnología de aprovechamiento energético a través de paneles fotovoltaicos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Evaluar la gestión ambiental del Complejo Legaría del Banco de México y proponer acciones que permitan mejorar su desempeño ambiental

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar y cuantificar indicadores de desempeño ambiental relacionados con las emisiones, descargas y residuos generados en el Complejo Legaria.
- Evaluar los indicadores del Complejo Legaria tomando como parámetro de referencia casos de estudio a nivel nacional o internacional cuyos resultados sean considerados como información de libre acceso.
- Proponer acciones que permitan mejorar los indicadores del Complejo Legaria.

Capítulo 2

2. MARCO TEÓRICO

La conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y la Conferencia de las Naciones Unidas sobre medio ambiente y Desarrollo (CNUMAD), realizadas en 1972 y 1992, son dos hitos de la historia de la segunda mitad del siglo XX, que tomamos como puntos de referencia para la exposición de los antecedentes históricos de la gestión ambiental a nivel mundial. Ambos eventos contribuyeron a incrementar la conciencia ambiental y a formar nuevas visiones sobre el medio ambiente dando lugar a nuevas políticas ambientales y acuerdos internacionales.

Actualmente los gobiernos poseen departamentos (ministerios, secretarías) encargados de hacer control y vigilancia sobre el uso de los recursos naturales. De igual forma se han expedido leyes, normas y reglamentos nacionales e internacionales que buscan el desarrollo de los países bajo un esquema sostenible de aprovechamiento de los recursos que provee la naturaleza.

En México entidades como la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) creada en el año 2000, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), creada en el año 1989 y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) son las entidades encargadas de regular los temas relacionados con la conservación de los recursos naturales (agua, fauna y flora), así como en el diseño de legislación relacionada con el medio ambiente. Estas instituciones han llevado a cabo un marco regulatorio en materia ambiental para México, en el cual la gestión ambiental ocupa un lugar preponderante en factores ambientales como los de la calidad del aire, medios forestales, suelos, vida silvestre, zonas marítimo terrestre y ambientes costeros, además de metodologías como las de la evaluación de riesgo e impacto ambiental y políticas relacionadas con el manejo de materiales y actividades riesgosas, sin embargo, estas metodologías y políticas se tornan complejas y son limitadas puesto que no manejan los enfoques holísticos y sistemáticos para la evaluación de los impactos ambientales.

Es por todo lo anterior que además de las regulaciones nacionales, se hizo necesario establecer normas internacionales de apoyo a la calidad ambiental, dentro de las cuales destacan las desarrolladas por la Organización Internacional de Estandarización (ISO), dentro de las cuales se encuentran las relacionadas con la implantación de sistemas de gestión ambiental que permiten evaluar el desempeño ambiental de las organizaciones, mejorar la

imagen organizacional a través del compromiso ambiental y posicionar a las empresas en el mercado internacional.

Auditorías ambientales gubernamentales

La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), desde el año de 1992, lleva a cabo un programa de auditorías ambientales dirigidas al sector industrial del país, a este tipo de auditorías se les conoce como industria limpia. El programa es de carácter voluntario y busca que las empresas e industrias cumplan con la legislación ambiental mexicana. El programa de industria limpia brinda tres tipos de certificados:

- Industria limpia: dirigido a las empresas que realizan actividades de manufactura y transformación.
- Calidad ambiental: dirigido a empresas dedicadas a las actividades comerciales y de servicios.
- Calidad ambiental turística: dirigido a empresas y servicios que se dedican a las actividades turísticas.

Cuando una empresa o industria cumple con todos los requisitos para la obtención del certificado ambiental, la PROFEPA otorga el certificado y un sello ambiental, símbolo o imagen de cumplimiento con la norma ambiental mexicana y del compromiso ambiental de la organización, este sello puede ser puesto sobre la fachada de la organización.

Los trámites para la obtención del certificado se dividen en varias modalidades:

Para el trámite PROFEPA-02-001. Obtención de un certificado ambiental.

- Modalidad A: Modalidad ambiental previa a la solicitud.
- Modalidad B: Auditoría ambiental posterior a la solicitud, sin plan de acción.
- Modalidad C: Auditoría ambiental posterior a la solicitud, con plan de acción.

Para el trámite PROFEPA-02-002. Solicitud para la renovación de un certificado ambiental.

- Modalidad A: Renovación por informe de diagnóstico ambiental.
- Modalidad B: Renovación por reporte de desempeño ambiental

Pasos para una auditoría ambiental:

Los pasos que se establecen a continuación, deben de ser seguidos por las industrias para la obtención de una auditoría ambiental por parte de empresas registradas y autorizadas por las PROFEPA; los pasos a seguir son:

- Obtención de la información ambiental:

Esta información puede ser obtenida a través de los reportes ambientales realizados por la organización. Algunos de los documentos base para obtener esta información son los reportes de la Licencia Ambiental Única del Distrito Federal (LAUDF) y la cédula de operación anual (COA).

- Evaluación de la información ambiental:

La información es organizada y sujeta a análisis que puede realizarse a través de hojas de cálculo en Excel. Los resultados obtenidos deben reflejar las entradas y salidas de los insumos directos e indirectos que la organización utiliza para el desarrollo de sus actividades.

- Establecimiento de las conclusiones que incluyan la identificación de aspectos que deban ser mejorados:

En este punto se debe establecer si el desempeño ambiental de la organización ha mejorado o si por el contrario se necesitan llevar a cabo estrategias que permitan su mejoramiento.

Proceso de certificación

- Elegir o seleccionar un auditor acreditado por la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA) y aprobado por la PROFEPA.
- Firma del convenio entre la organización y la PROFEPA para la realización de la auditoría ambiental.
- Revisión del cumplimiento de los compromisos asumidos en el convenio del punto anterior.
- Terminada la revisión y previo cumplimiento de los compromisos se otorga el certificado.

Por otro lado la PROFEPA establece niveles de desempeño ambiental. Los niveles de desempeño ambiental se realizan conforme al cumplimiento que alcanza una empresa respecto a los requisitos y parámetros establecidos. Existen dos tipos de desempeño ambiental, el primero es el nivel de desempeño ambiental 1 (NDA1), a este nivel ingresan las organizaciones que cumplen con las obligaciones ambientales y con las acciones de mejora, el segundo es el nivel de desempeño ambiental 2 (NDA2), este es el máximo nivel que una empresa puede obtener.

En este sentido, el Complejo Legaria se posiciona como la primera organización en la Ciudad de México en obtener el Certificado de Industria Limpia en la modalidad de desempeño ambiental 2 (NDA2), otorgado por la PROFEPA en diciembre 2015.

2.1. Sistemas de gestión ambiental

Desde el punto de vista normativo, ISO define los sistemas de gestión ambiental como parte de los sistemas de una organización, empleada para desarrollar e implementar una política ambiental y gestionar los aspectos ambientales más significativos de las operaciones corporativas.

La ISO es una asociación privada creada en 1947 con sede en Ginebra, Suiza. Su objetivo principal es “crear y promover normas comunes a nivel mundial para fomentar el comercio internacional”. Para ello requiere la participación de los sectores públicos y privados de la sociedad para la aplicación de estas normativas. (ISO 14001, 2000)

Así mismo, la estructura organizacional de la ISO involucra a los sectores sociales en la construcción y revisión periódica de las normativas que se pretenden implementar en las naciones.

Los sistemas de gestión ambiental, siguen un modelo de gestión denominado “Planificar-Hacer-Verificar-Actuar” (PHVA). Este proceso se ilustra en la Figura 1.

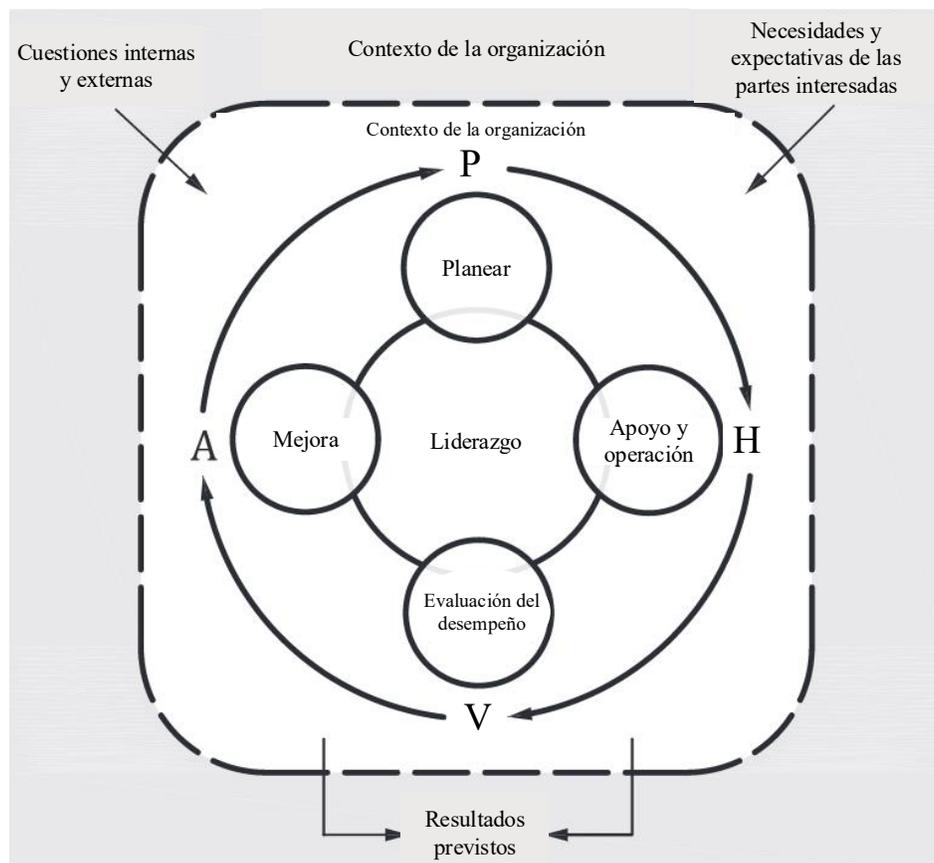


Figura 1 Modelo de un sistema de gestión ambiental para las normas ISO. Fuente: ISO 14001. (2015)

El ciclo PHVA es un proceso constante e iterativo y permite que una organización desarrolle e implemente su política ambiental con base en el liderazgo y compromiso de la alta dirección con los sistemas.

A continuación se hace una breve descripción de cada una de las etapas PHVA aplicables para todas las normas ISO de la familia ISO 14000.

Planificar. Establecer un proceso de planificación continuo que permite a la organización:

- Identificar los aspectos ambientales y los impactos ambientales asociados.
- Identificar y hacer seguimiento de los requisitos legales y otros requisitos que la organización suscriba y establecer criterios internos de desempeño cuando sea apropiado.
- Establecer objetivos y metas ambientales y formular programas para lograrlos.
- Desarrollar y usar indicadores de desempeño ambiental.

Hacer. Implementar y operar el sistema de gestión ambiental.

- Crear estructuras de gestión, asignar funciones y responsabilidades con suficiente autoridad.
- Suministrar recursos adecuados.
- Formar al personal y asegurarse de su toma de conciencia y competencia.
- Establecer procesos de comunicación interna y externa.
- Desarrollar y mantener la documentación.
- Establecer e implementar controles a los documentos.
- Establecer y mantener controles operacionales.
- Asegurarse de la preparación y capacidad de respuesta ante emergencias.

Verificar. Evaluar los procesos del sistema de gestión ambiental.

- Seguimiento y medición continuos.
- Evaluar el estado de cumplimiento.
- Identificar las no conformidades y tomar acciones correctivas y preventivas.
- Gestionar registros.
- Realizar periódicamente auditorías internas.

Actuar. Revisar y emprender acciones para mejorar el sistema de gestión ambiental.

- Realizar revisiones por la dirección del sistema de gestión ambiental a intervalos apropiados.
- Identificar áreas de mejora.

2.1.1. ISO 14001: sistemas de gestión ambiental

La norma ISO 14001 es una norma internacional que se ha constituido como una importante herramienta para lograr una gestión empresarial productiva y amigable con el ambiente, que trabaja de una forma sistemática y de mejora continua. La ISO14001 fue publicada en 1996 y actualizada en el año 2015 y desde entonces, su aplicación se da para todo tipo de empresas en el ámbito mundial.

De igual manera la norma ISO 14001 es de aplicación voluntaria y el éxito en su implementación depende del nivel de conocimiento y del grado de conciencia de quien la aplica. Un distintivo de la norma es que es certificable.

Adicionalmente a ISO 14001, se han publicado normas como ISO 14004, cuyo propósito general es proporcionar asistencia a las organizaciones que deseen implementar o mejorar un sistema de gestión ambiental y con ello mejorar su desempeño ambiental. Esta norma apoya la implementación de ISO 14001. (Tabla 1).

Las tareas fundamentales para que los directores desarrollen, implementen o mejoren un sistema de gestión ambiental son:

- Reconocer que la gestión ambiental es una de las prioridades más altas de la organización.
- Establecer una comunicación constante entre las partes interesadas.
- Identificar los requisitos legales de los aspectos ambientales que la organización pueda asumir.
- Asegurar el compromiso de la dirección y de todas las personas que trabajan para la organización o en nombre de ella para la protección del medio ambiente, con asignaciones claras en cuanto a informe de acciones y responsabilidades.
- Fomentar la planificación ambiental a través del ciclo de vida del producto.
- Establecer un proceso para el logro de objetivos y metas ambientales.
- Suministrar recursos apropiados y eficientes.
- Evaluar el desempeño ambiental frente a la política, los objetivos y metas ambientales de la organización buscando mejoras donde sea necesario.
- Establecer un proceso de auditoría para el sistema de gestión ambiental.
- Motivar a los contratistas y proveedores a establecer un sistema de gestión ambiental.

Tabla 1. Sinergias entre las normas ISO 14001 e ISO 14004.

Criterio	ISO 14001	ISO 14004
Función	Establece lo que hay que hacer para implementar un SGA	Sirve como apoyo para la implementación de la ISO 14001
Requisitos	Tiene requisitos que se deben cumplir	No tienen requisitos que sean de índole obligatoria
Auditoría	Es auditable objetivamente o para auto declaraciones	No es auditable, es una guía de apoyo para la norma ISO 14001
Ambiental	No garantiza resultados ambientales óptimos (solo garantizan el buen funcionamiento de la organización)	Su razón de ser es el mejoramiento Ambiental (ser una herramienta para ayudar a la implementación de ISO 14001 proponiendo puntos de vista de mejoramiento)
Obligaciones	Utiliza la palabra Debe en sus requisitos. (cumplimiento de la legislación ambiental)	No utiliza la palabra Debe en ninguno de sus requisitos
Certificación	Es certificable	No tiene propósitos de certificación
Gestión	Pone énfasis en cómo se gestiona el comportamiento ambiental	Brinda herramientas para llevar a cabo la gestión del comportamiento ambiental
Característica		No pretende ser una interpretación de la ISO 14001

2.2. Normas de apoyo a los SGA

2.2.1. ISO 14031: evaluación del desempeño ambiental (EDA)

Esta norma es un proceso y una herramienta de gestión interna diseñada para proporcionar continuamente a la dirección, información fiable y verificable si el desempeño ambiental de una organización está cumpliendo con los criterios establecidos.

Una organización con un sistema de gestión ambiental, debe hasta donde sea posible, evaluar su desempeño ambiental respecto a sus objetivos, metas y otros criterios. Esta norma puede ayudar a una organización a evaluar su desempeño ambiental a través de:

- La identificación de los aspectos ambientales.
- La determinación de qué aspectos serán los más significativos.
- El establecimiento de criterios para su desempeño ambiental.

- La evaluación del desempeño ambiental frente a estos criterios.

Esta norma describe dos categorías generales de indicadores que se muestran a continuación. (ISO 14031, 1999):

Indicadores de Desempeño Ambiental (IDA)

Los Indicadores de Desempeño Ambiental (IDA) brindan información específica que provee datos de inversiones, consumos energéticos, insumos, generación de residuos, entre otros datos que una organización tiene en el desarrollo de sus actividades. A su vez los IDA se subdividen en Indicadores de Desempeño de Gestión (IDG) e Indicadores de Desempeño Operacional (IDO).

Indicadores de Desempeño de Gestión (IDG)

Proporcionan información sobre el esfuerzo de la dirección para influir en el desempeño ambiental de las operaciones de la organización, es decir las inversiones realizadas por la empresa para el mejoramiento de su desempeño ambiental. Algunos ejemplos de IDG son:

- Inversiones económicas en la adquisición de nueva tecnología más eficiente.
- Inversiones económicas en cursos de capacitación en temas ambientales para empleados.

Indicadores de Desempeño Operacional (IDO)

Proporcionan información cuantitativa del uso de materiales de una organización. Este tipo de indicadores reflejan los consumos de agua, combustibles fósiles, energía, y otra serie de materiales como papel, metales, equipos electrónicos, entre otros que una organización haya utilizado para el desarrollo de sus actividades.

Indicadores de la Condición Ambiental (ICA)

Los Indicadores de la Condición Ambiental proporcionan información del entorno en donde se encuentra ubicada la organización. Esta información ayuda a comprender el impacto real o potencial al entorno de las actividades organizacionales permitiendo con ello la planificación e implementación de acciones dirigidas al mejoramiento ambiental.

Los ICA pueden ser obtenidos a través de reportes (científicos o gubernamentales) o por medio del levantamiento de información en campo. El tipo de factores ambientales a inventariar está sujeto a criterio de la organización. Los factores ambientales pueden ser:

- Cuerpos de agua que se encuentren cerca de la organización.
- Fauna y flora.

- Características de suelo.
- Poblaciones cercanas.
- Condiciones meteorológicas del lugar

Las decisiones y acciones que la dirección tome respecto a temas ambientales, definen en gran medida cómo será el desempeño ambiental de la misma. La Figura 2 muestra las interrelaciones entre la dirección, las operaciones de la organización y la condición ambiental y destaca el tipo de indicador para la evaluación de desempeño ambiental relacionado con cada uno de los elementos.

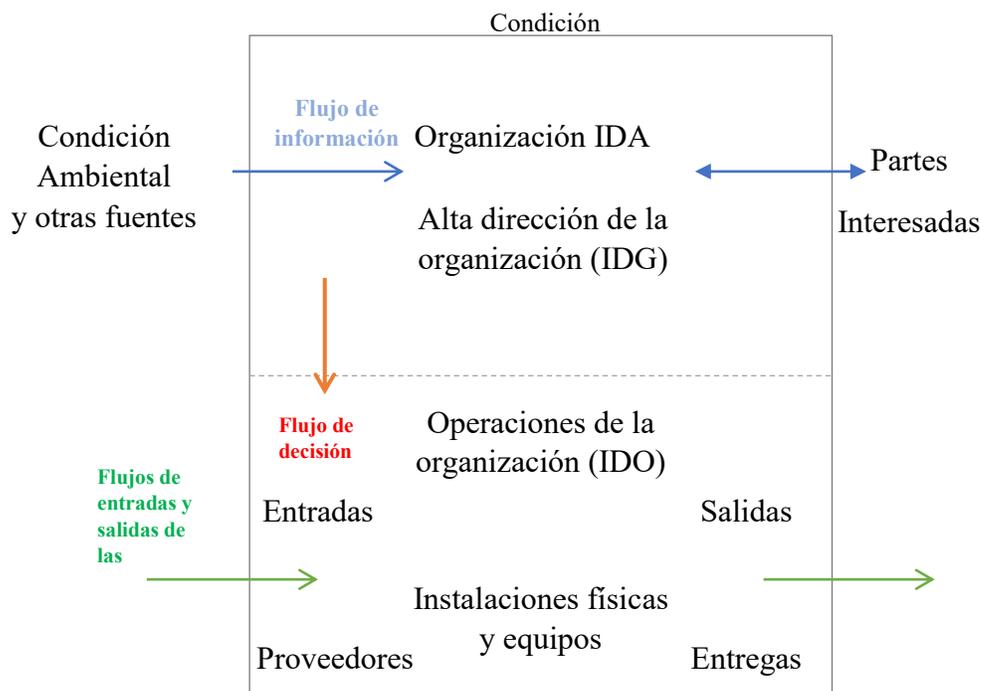


Figura 2 Interrelaciones entre la dirección y las operaciones de una organización con la condición ambiental. ISO 14031 (2008).

Las Figuras 3 y 4 brindan un esquema de los indicadores utilizados para la evaluación del desempeño ambiental en una organización utilizados en la norma ISO 14031.



Figura 3 Diferentes tipos de IDO. Alzate (2005).

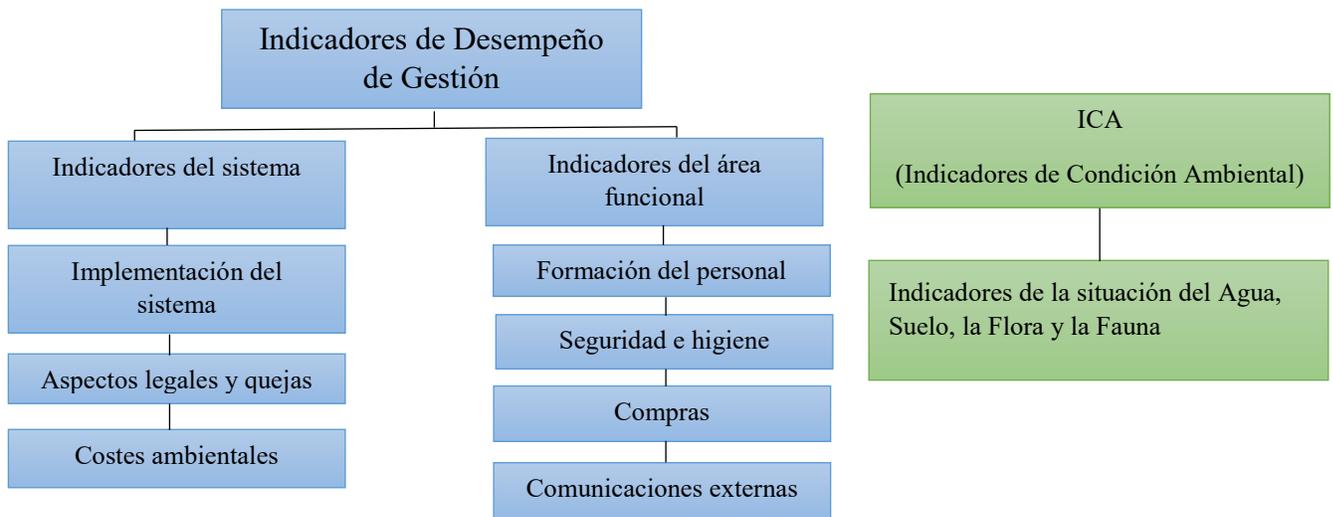


Figura 4. Diferentes tipos de IDG e ICA. Alzate (2005).

Diferencias entre las normas ISO 14001 e ISO 14031

En la planeación la norma ISO 14031 trabaja con las partes interesadas para la evaluación del desempeño ambiental organizacional (no necesariamente involucra a todos los miembros de la organización), mientras que la norma ISO 14001, por requerimientos legales involucra a toda la organización, desde el miembro de mayor jerarquía hasta el miembro de menor jerarquía.

La norma ISO 14001 se enfoca hacia los sistemas de gestión ambiental, es decir mantener de forma ordenada y registrada los reglamentos que en materia ambiental la organización debe cumplir, esto no garantiza que el desempeño ambiental de la organización esté mejorando puesto que la norma no menciona formas de medir dicho desempeño. En contraste, la norma ISO 14031 evalúa el desempeño ambiental de una organización a través de indicadores los cuales permiten obtener información acerca de las áreas en donde se pueden implementar mejoras ambientales con miras al mejoramiento del desempeño ambiental.

En el ejercicio de la implementación el SGA propuesto por ISO 14001 no se trabaja directamente con indicadores ambientales, su principal objetivo es el cumplimiento de los requisitos legales y de la política ambiental, por otro lado ISO 14031 utiliza indicadores ambientales y gerenciales.

En la Figura 5 se pueden apreciar las diferencias entre la norma ISO 14031 e ISO 14001 en cada una de sus etapas de P-H-V-A (Planear, Hacer, Verificar y Actuar), de igual forma la Tabla 2 muestra las ventajas y desventajas de cada norma.

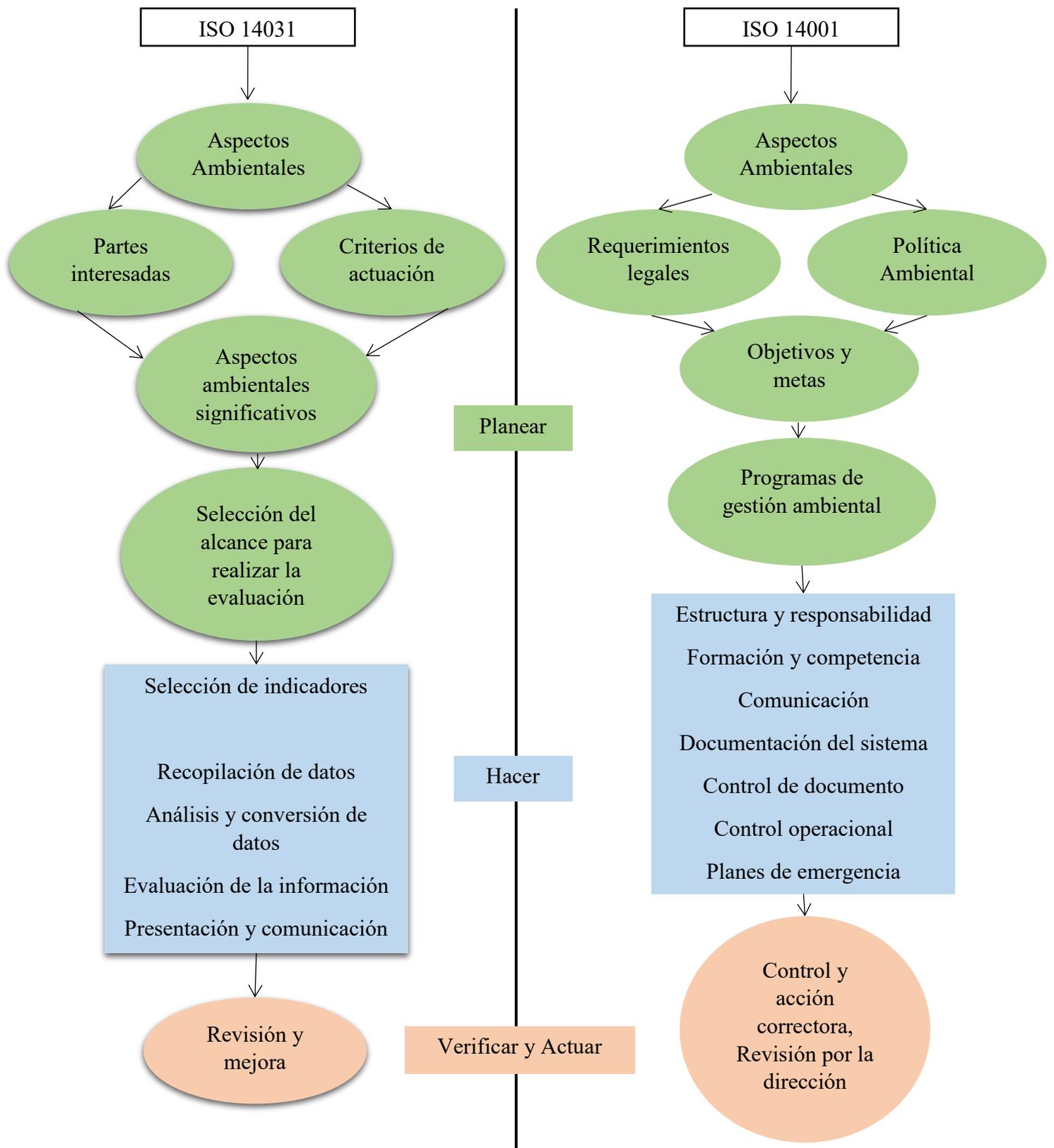


Figura 5. Diferencias y similitudes entre las normas ISO 14031 e ISO 14001

Tabla 2. Ventajas y desventajas de las normas ISO 14001 e ISO 14031.

ISO 14001		ISO 14031	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Es aplicable a todos los tipos de organización y puede ajustarse a diversas condiciones geográficas, culturales y sociales.	No garantiza el mejoramiento del desempeño ambiental de la organización.	Es aplicable a todos los tipos de organización y puede ajustarse a diversas condiciones geográficas, culturales y sociales.	No es una metodología conocida en el sector industrial.
Mejora los Sistemas de Gestión Ambiental en una organización.	Grandes volúmenes de información que debe ser documentada.	A partir de los indicadores se pueden tomar decisiones más concretas para mejorar el desempeño ambiental de la organización.	No establece procedimientos para la medición de los indicadores ambientales.
Permite detectar aspectos e impactos relevantes.	Poco claro a la hora de demostrar los resultados ambientales.	Permite detectar los puntos críticos ambientales para mejorar el desempeño ambiental.	
Permite que la organización cumpla con los requisitos legales en materia ambiental.	Debe incluir a todos los miembros de la organización para la toma de decisiones.	No es necesario que todos los miembros de la organización participen en la toma de decisiones.	Podrían existir problemas de comunicación con el personal interno
Es certificable.	Su implementación puede tardarse por trámites largos.	Es de fácil implementación.	No es certificable.
Mejora la imagen exterior de la Organización.	La imagen debe renovarse en determinado periodo de tiempo aumentando costos por certificación	Conformación de procedimientos de medición de uso de recursos y emisión de contaminantes	No impacta en mayor medida a la imagen de la organización.
El sistema de gestión ambiental es continuamente evaluado y mejorado a través del tiempo.		Mantiene un proceso continuo de recopilación y análisis de datos e información para proporcionar una evaluación actualizada del desempeño, así como las tendencias a través del tiempo.	

2.3. Análisis de Ciclo de vida-ACV

De acuerdo a la Norma ISO 14040 ISO (2006), el análisis de ciclo de vida se define como una metodología utilizada para determinar los impactos ambientales asociados a la manufactura de un producto o prestación de un servicio teniendo en cuenta todas las etapas del ciclo de vida; es decir desde la extracción de materias primas, pasando por el transporte, manufactura, distribución, uso y tratamiento o disposición final. Los resultados obtenidos pueden ser expresados en diferentes categorías de impacto como cambio climático, acidificación eutrofización, formación de oxidantes fotoquímicos, entre otros.

El análisis de ciclo de vida permite comparar dos o más productos o servicios diferentes, siempre y cuando éstos tengan la misma función, así como identificar áreas de mejora en el proceso de producción en una empresa. Puesto que el análisis de ciclo de vida es un estudio sistemático y detallado, es indispensable seguir una serie de etapas que se mencionan a continuación.

2.3.1. Etapas de ACV

Las etapas que componen el análisis de ciclo de vida son las siguientes:

- Definición de objetivo y alcance.
- Análisis de inventario de análisis de ciclo de vida.
- Evaluación del impacto de ciclo de vida.
- Interpretación del ciclo de vida.

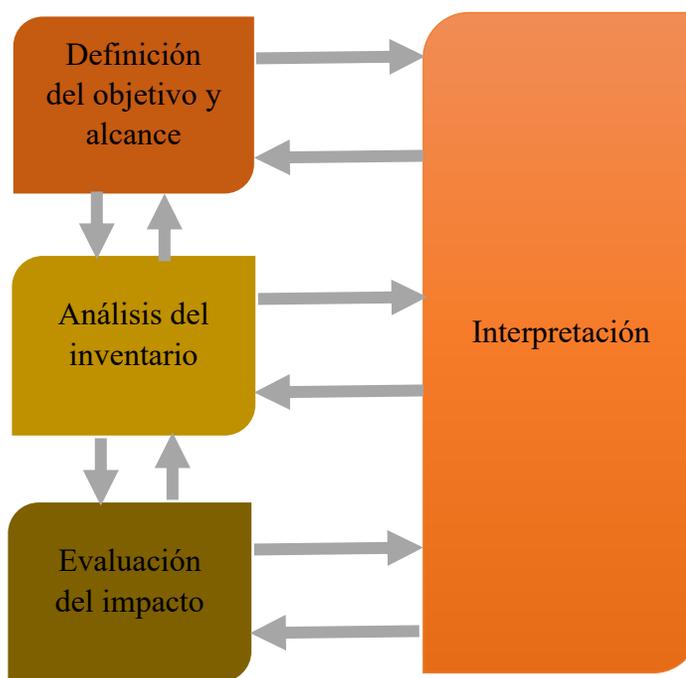


Figura 6. Fases de análisis de ciclo de vida. Fuente ISO 14040/44 (2006).

En la Figura 6 se ilustran las etapas de ACV, así como la interrelación entre cada una de ellas. Este gráfico muestra que el ACV es un proceso interactivo que permite incrementar el nivel de detalle en cada una de las fases, propiciando con ello el mejoramiento continuo de los resultados y reducción de la incertidumbre.

A continuación se explica detalladamente cada una de las etapas del análisis de ciclo de vida. (ISO 14040,2004)

Definición de objetivo y alcance: En esta etapa se establece el propósito del análisis, rumbo y la extensión de mismo.

Sistemas Estudiados: Productos o servicios que se analizarán y compararán.

Unidad Funcional: Define la cantidad de productos o servicios necesarios para cumplir el objetivo del estudio en función a los bienes que se comparan, y a partir de esto se cuantifican las entradas y salidas de cada sistema.

Límites del sistema: Es necesario determinar claramente cuáles son las unidades de procesos que se van a incluir en el estudio, con base en el objetivo establecido. Puesto que ACV tiene un enfoque holístico, si no se definen los límites del sistema, los estudios pueden ser extensos y no objetivos.

Inventario del ciclo de vida (ICV): Comprende la obtención de datos que son usados para cuantificar las entradas y salidas relevantes del sistema, tomando como referencia la unidad funcional. Las entradas y salidas pueden incluir el uso de recursos y emisiones atmosféricas, descargas de agua residual y residuos sólidos o peligrosos asociadas con el sistema a lo largo del ciclo de vida del producto, en todas las etapas.

De acuerdo a ISO 14041, el análisis del inventario es una lista cuantificada de todos los flujos entrantes y salientes del sistema durante toda su vida útil, los cuales son extraídos del ambiente natural o emitido en él, calculando los requerimientos energéticos y materiales del sistema y la eficiencia energética de sus componentes, así como las emisiones producidas en cada uno de los procesos y sistemas.

Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV): Con los resultados obtenidos en el análisis del inventario, EICV valora los impactos ambientales generados por cada proceso unitario en la fabricación de los productos analizados, estableciendo categorías de impacto en función al objetivo y alcance de estudio basándose en los grupos definidos. (SETAC 2002). Algunas categorías de impacto que se evalúan son:

- Ocupación de suelo agrícola.
- Cambio climático.
- Agotamiento de combustibles fósiles.
- Eutrofización de agua dulce.
- Toxicidad humana.
- Agotamiento de minerales.

- Formación de oxidantes fotoquímicos.
- Acidificación terrestre.
- Eco toxicidad terrestre.
- Agotamiento de agua.

ISO 14042 define los elementos obligatorios de la EICV de la siguiente forma. (ISO 14042,2006):

- Selección: Se hace la selección de las categorías de impacto y los métodos de caracterización que se van a considerar en el estudio.
- Clasificación: Es la asignación de los datos del inventario a las diferentes categorías de impacto, tales como calentamiento global, disminución de la capa de ozono, toxicidad humana, entre otros.
- Caracterización: Se refiere al cálculo del indicador de impacto para cada una de las categorías de impacto seleccionadas, usando factores de caracterización que varían en función de la ubicación geográfica de los datos utilizados en el inventario para dicho factor.
- Así mismo, existen elementos opcionales de la EICV los cuales son definidos por la norma ISO 14042 (ISO, 2006), que establece lo siguiente:
 - Normalización: Es el cálculo de la magnitud del indicador de impacto. Para ello se usa información de referencia, como las emisiones en un área determinada, previamente caracterizadas por el mismo método de caracterización.
 - Agrupación: Es el proceso de clasificar por grupos de impacto similar o por categorías en una jerarquía determinada (alta, media o baja prioridad).
 - Valoración: Radica en establecer factores que otorgan una importancia relativa a las distintas categorías de impacto para después sumarlas y obtener un resultado ponderado en forma de un único índice ambiental global del sistema.

Interpretación del Ciclo de Vida: Es la última etapa de ACV, aquí se evalúan los resultados y se plantean conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones, de forma consistente con el objetivo y alcance de estudio (ISO, 2006).

2.4. Análisis de Ciclo de Vida Organizacional (ACV-O)

Esta metodología fue publicada en diciembre de 2014 a través de la norma ISO 14072 que establece las directrices y los pasos principales para la aplicación de estudios de análisis de ciclo de vida en organizaciones. Así mismo el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, la Sociedad Ambiental de Toxicología y Química y Life Cycle Initiative, lanzaron en diciembre del año 2014 la guía denominada “Guidance on Organizational Life Cycle

Assessment”, la cual, establece de manera detallada, cómo aplicar un estudio de análisis de ciclo de vida en organizaciones.

El ACV-O utiliza la perspectiva de ciclo de vida para reunir y evaluar la información de entradas, y salidas de materiales (agua, energía, insumos) además de los posibles impactos ambientales de las actividades asociadas a la organización y a la provisión de su cartera de productos. Con esta metodología las organizaciones pueden dar cumplimiento a los siguientes objetivos:

- Identificar puntos críticos en la cadena de valor.
- Seguir el desempeño ambiental a lo largo del tiempo.
- Apoyar decisiones estratégicas.
- Facilitar información para completar informes de sostenibilidad corporativa.

Así mismo, la guía establece que la metodología no realiza comparaciones de resultados de evaluación de impacto entre diferentes organizaciones, puesto que las actividades entre organizaciones pueden ser diferentes y no existe una base consistente de comparación.

Marco técnico

De acuerdo a ISO 14072, en los estudios de Análisis de Ciclo de Vida Organizacional se deben seguir las siguientes etapas.

- Definición del objetivo y alcance de estudio.
- Definición de las funciones del sistema
- Enfoque de consolidación
- Límites del sistema
- Calidad de datos
- Uso de criterios de priorización
- Unidad de reporte organizacional
- Inventario del análisis de ciclo de vida.
- Impacto del ciclo de vida.
- Interpretación de resultados e incertidumbre.

2.4.1. Etapas

Definición de objetivo y alcance

Lo primero que se debe hacer es definir el objetivo del estudio, para lo cual hay que responder de manera clara y sin ambigüedades a las siguientes preguntas:

- ¿Por qué se quiere hacer un estudio de ACV-O?

- ¿Con un estudio de este tipo, qué preguntas tratamos de resolver?
- ¿Quién dará uso a los resultados?
- ¿Qué es lo que se quiere evaluar?

El alcance debe ser único y claro para asegurar la amplitud, profundidad y detalle del estudio. Es necesario describir de manera detallada la organización que se analizará, establecer los límites del sistema y definir de dónde se va a obtener la información.

Unidad de reporte organizacional

Establece la unidad de análisis para el ciclo de vida de la organización, es el equivalente a la unidad funcional utilizada en ACV para productos y servicios, pero con la diferencia de que ya no se define la unidad de análisis por función del producto sino por la totalidad de unidades fabricadas en un periodo de tiempo dentro de una organización.

La unidad de reporte debe ser consistente con los elementos del objetivo y el alcance del estudio (ISO, 2014). En ese sentido se debe definir la siguiente información.

- Nombre y descripción de la organización objeto de estudio (instalaciones involucradas por regiones, por instalaciones).
- Definición y consolidación del método.
- Periodo de tiempo de referencia.

Enfoques del método

Está dirigida a organizaciones grandes (que tengan muchas franquicias o instalaciones en muchas regiones del país o del mundo). Las organizaciones pueden realizar el ACV-O a través de los métodos de control operacional, financiero y participación de capital. En la Figura 7 se encuentra la descripción de cada uno de los métodos.

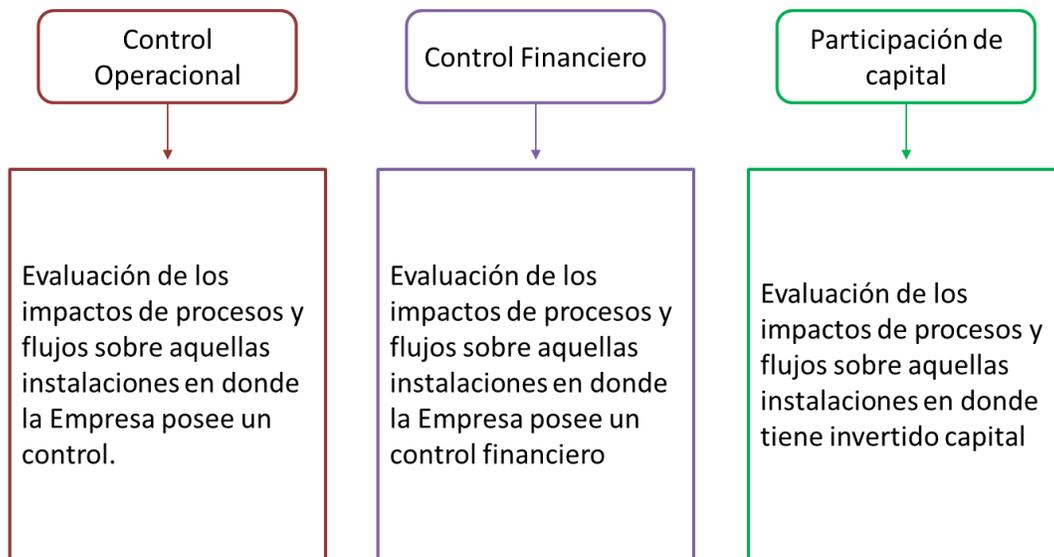


Figura. 7 Consolidaciones del método para estudios de ACV-O. (Martínez et al 2015).

En la Figura 7 se observa que, la organización tiene la facultad de evaluar aquellas instalaciones o actividades sobre las cuales tiene un control.

Fronteras del sistema

Las fronteras son definidas de acuerdo a las relaciones financieras, sociales y de proveedores que tenga la organización. (ISO 14072, 2015). Es necesario definir cuáles de estas relaciones serán incluidas en el estudio. Un ejemplo es considerar todas las relaciones involucradas en la adquisición de las materias primas y las emisiones vinculadas a los procesos que se encuentran corriente arriba (bienes y servicios adquiridos por la organización), o corriente abajo, (actividades vinculadas a la distribución y al final del ciclo de vida de los productos). Estos límites y fronteras definirán el perfil medioambiental global de la organización.

En la Figura 8 aprecia que las fronteras del sistema se encuentran divididas por actividades indirectas corriente arriba (upstream-activities), actividades directas (direct-activities) y actividades indirectas corriente abajo (downstream-activities).

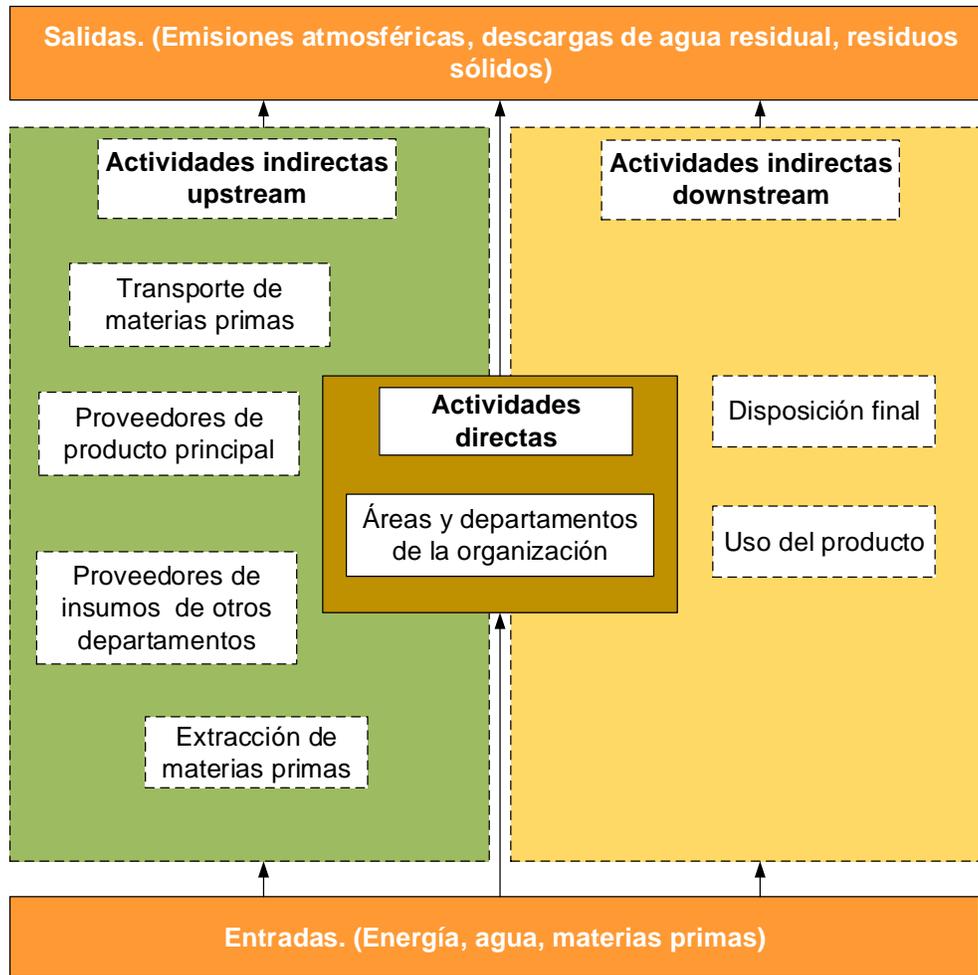


Figura 8. Fronteras del ACV-O por actividades directas e indirectas. (Martinez et al 2015).

Niveles Up-stream

- Nivel 1: Hace referencia a la logística que se encarga de entregar los productos solicitados por la organización, estos pueden ser los medios de transporte que intervienen en la entrega de materiales e insumos.
- Nivel 2: Se encuentran los proveedores de materiales e insumos, estas son fábricas encargadas de transformar la materia prima en productos elaborados.
- Nivel 3: Corresponde a la materia prima, estos pueden ser los campos de cultivo, canteras, minas, bosques, entre otros. Estos materiales no han sufrido procesos de transformación.

Niveles Down-stream

- Nivel 1: Corresponde a la distribución del producto o productos que fabrica la organización. Dicha distribución hace referencia al transporte del cliente que compra el producto al lugar de uso.

- Nivel 2: Son los comerciantes de los productos fabricados por la organización. Aquí podemos encontrar tiendas de abarrotes, otras industrias, entre otros.
- Nivel 3: Es el consumidor. Son los clientes finales antes de que el producto termine como un residuo.

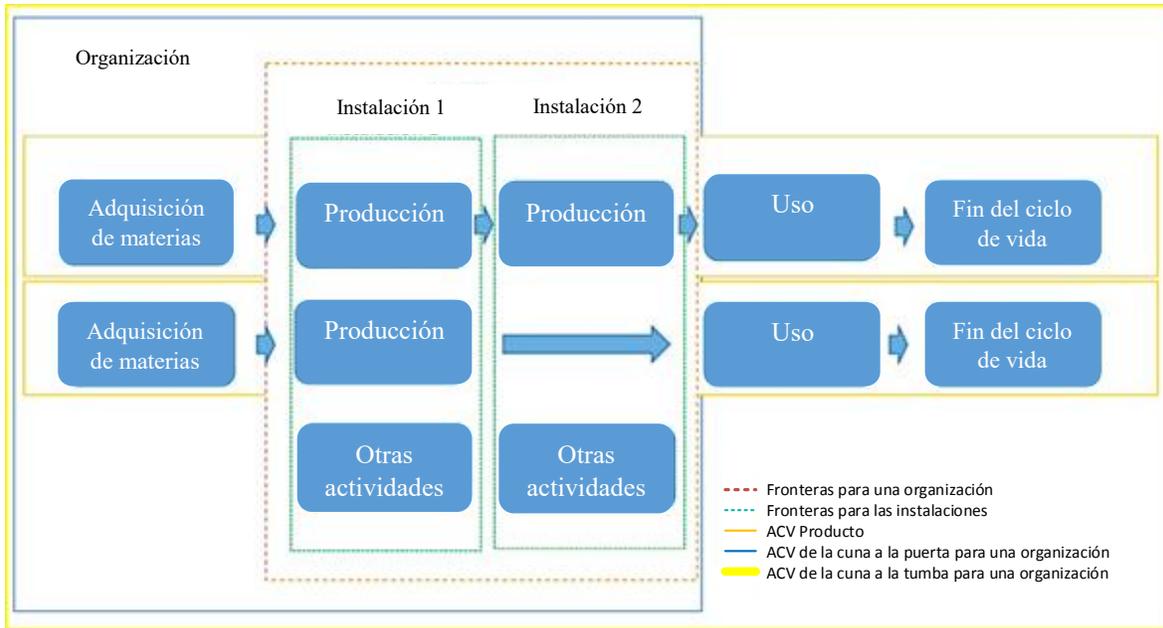


Figura 9. Enfoques de ACV-O en Organizaciones. Guidance on Organizational Life Cycle Assessment (2015).

En la Figura 9 observan los diferentes enfoques que se le pueden dar al ACV-O. Una organización (frontera de color café), puede tener varias instalaciones (fronteras de color verde), las cuales a su vez, pueden tener diferentes tipos de producción para diferentes productos. En estos casos se pueden desarrollar ACV para un solo producto (fronteras color amarillo oscuro), así como hacer ciclos de vida de todos los productos al mismo tiempo (ACV-O).

Los análisis de ciclo de vida pueden desarrollarse de la cuna a la puerta y de la cuna a la tumba; en el primer caso, el análisis solo evalúa las etapas desde la extracción de materias primas, hasta la manufactura, para el segundo caso, se evalúa todas las etapas del ciclo de vida, es decir desde la extracción de materias primas hasta la disposición final o reutilización de los productos. (Martinez et al, 2015).

Inventario del análisis de ciclo de vida organizacional

En esta etapa se reúne toda la información de las entradas y salidas de insumos para cada uno de los productos objeto de estudio. El inventario de cada insumo debe ser calculado teniendo en cuenta la unidad de reporte, los objetivos, y las fronteras del ACV-O.

El inventario debe tener los flujos elementales, que son definidos como “la materia o energía que entra al sistema y que ha sido extraída del ambiente sin previa transformación, o el material o energía que deja el sistema objeto de estudio y es emitida en el medio ambiente sin transformación humana posterior” y los flujos no elementales o complejos; “en entradas, por ejemplo, electricidad, materiales y procesos de transporte, y en salidas, residuos y subproductos). (Martinez et al, 2015).

En términos generales, se espera obtener información de mejor calidad y específica para las actividades que suceden dentro de la organización, mientras que información genérica puede ser utilizada para las otras actividades que suceden fuera de la misma, esta información puede ser obtenida a través de bases de datos presentes en el software disponibles para los estudios de ACV.

Actividades involucradas en ACV-O

El inventario debe incluir todos los recursos utilizados y las emisiones asociadas con las actividades dentro de los límites del sistema. La lista que se presenta a continuación, muestra las actividades que pueden ser consideradas en estudios de ACV-O. (Martinez et al, 2015).

Listado para actividades corriente arriba (up-stream).

- Generación de energía eléctrica proveniente de la combustión de combustibles en fuentes estacionarias (hornos, boiler, turbinas).
- Procesos químicos y físicos (de la manufactura, procesamiento y limpieza).
- Transporte de materiales, productos intermedios, productos y residuos en vehículos propios o que son controlados por la organización.
- Consumo de recursos naturales extraídos con equipos de la organización o controlados por la misma, (consumo del agua de un río, extracción de minerales y arboles).
- Emisiones al aire o descargas al agua o suelo (descargas de agua provenientes de los procesos de refrigeración, emisiones de fertilizantes al suelo).

Así mismo, se deben incluir las entradas y salidas de otras actividades de exploración y producción. Por ejemplo, la extracción, producción y transporte de la electricidad consumida durante la extracción de materias primas y los combustibles, los bienes y servicios consumidos para la disposición y tratamiento de residuos sólidos o líquidos.

Listado de actividades directas (direct-activities)

- Recursos utilizados en la manufactura de productos
- Energía obtenida a partir de generadores localizados dentro de las instalaciones de la organización
- Insumos utilizados en actividades de apoyo

- Recursos utilizados en las operaciones cotidianas de la organización

Listado para actividades indirectas corriente abajo (down-stream).

- Transporte y distribución de productos para el cliente, o los viajes del cliente al lugar de consumo, donde los medios de transporte no son de propiedad, ni están controlados por la organización informante.
- Procesamiento y almacenamiento de productos suministrados al cliente. (por ejemplo, cuando el producto necesita de un proceso de transformación, antes de ser entregado al cliente).
- Operaciones de franquicias, inversiones y acciones, propiedad de la organización informante y entidades que se encuentren arrendadas.

Actividades de apoyo

Son las actividades y operaciones de una organización que no se encuentran involucradas directamente con la producción y con los productos; estos son los departamentos de gerencia, marketing, diseño, entre otros. Estas actividades son ignoradas en los estudios de ciclo de vida realizados para productos, sin embargo, pueden considerarse para los estudios de ciclo de vida organizacional.

Las actividades de apoyo son relevantes para la construcción del inventario en las organizaciones, esto para una organización representará tener una mayor visión de su impacto ambiental y le dará mejores oportunidades para reducir sus impactos en puntos críticos. Algunos ejemplos de las actividades de apoyo son los siguientes:

- **Suministro de bienes de capital:** En este grupo entran las actividades como maquinaria, infraestructura, edificios y vehículos; son aquellos equipos utilizados en los edificios y las fábricas, y que son usados durante un periodo de tiempo diferente al periodo de referencia considerado en ACV-O, para su inclusión en el inventario, es necesario considerar la vida útil de los activos y el periodo de tiempo durante el cual se utilizan.
- **Actividades relacionadas con el medio de trabajo:** Estos pueden ser los servicios de comedor, calefacción, aire acondicionado del lugar de trabajo o de limpieza, jardinería, zonas de ocio y servicios de cuidado de niños. Estas actividades están relacionadas con las condiciones de trabajo, pero se encuentran relacionadas indirectamente con las actividades de producción de la organización.
- **Activos, bienes, franquicias e inversiones:** Aquí se trata con productos inmateriales, como préstamos, fondos, inversiones o activos arrendados. Estas actividades en los estudios de ACV-O, se encuentran en desarrollo.

Cuantificación del inventario

Dos tipos de información pueden ser utilizados para la cuantificación del inventario; datos específicos o genéricos:

Datos específicos.

- Datos de procesos.
- Inventario de consumibles.
- Emisiones declaradas a las autoridades legales.
- Medición de emisiones.
- Balances de masa y estequiométricos.
- Composición de residuos y productos.
- Compras.

Datos genéricos.

- Datos promedio de la industria.
- Datos de la industria o artículos científicos.
- Bases de datos de software de análisis de ciclo de vida.
- Bases de datos gubernamentales, organizaciones internacionales, asociaciones.
- Estadísticas gubernamentales.

Los inventarios para estudios de ACV-O pueden tomar diferentes enfoques, por ejemplo se puede adquirir la información partiendo desde la organización hasta su proveedores, a este enfoque se le denomina de arriba hacia abajo (Top-down); otro enfoque es construir el inventario a partir de los proveedores de la organización, a este enfoque se le denomina de abajo hacia arriba (Bottom-up). De igual manera es posible hacer una combinación de ambos enfoques.

Por otro lado, a la hora de construir el inventario, cuando se busca información de proveedores, ya sea corriente arriba o corriente abajo, la información de interés es la relacionada con la unidad de reporte, es decir, solo se tiene en cuenta los productos y materiales que directamente tienen relación con el producto fabricado por la organización. Un ejemplo es la tinta utilizada para el billete de 100; para el inventario solo se tendrá en cuenta la información del proveedor relacionada con la tinta de ese billete de 100, el proveedor podrá fabricar tintas para impresoras, plumas, y otros insumos, sin embargo en el inventario solo se tendrá en cuenta la tinta utilizada en el billete de 100.

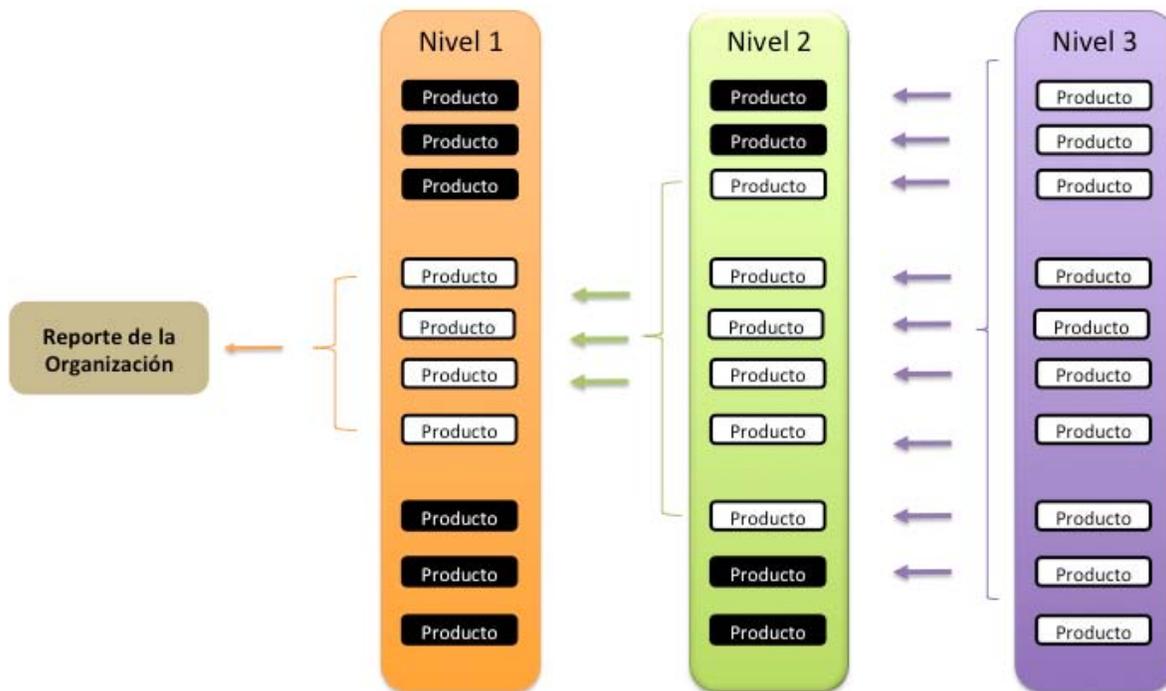


Figura 10. Construcción de inventario para análisis de ciclo de vida Organizacional. (ISO, 14072).

La Figura muestra los diferentes niveles para la adquisición de datos en la construcción del inventario de ACV-O. Las cajas blancas denominadas (Producto), son los materiales tenidos en cuenta para la construcción del inventario puesto que son aquellos que tienen una relación directa con la unidad de reporte, mientras que las cajas negras (Producto), son los que no tienen en cuenta.

Impacto del ciclo de vida

El impacto de ciclo de vida para ACV-O es el mismo utilizado en los estudios de ACV para productos, por lo tanto, se aplican los mismos procedimientos.

Interpretación del ciclo de vida y análisis de incertidumbre

Esta etapa es análoga a la interpretación del ciclo de vida realizada en productos. La interpretación es la fase en la que los resultados del análisis del inventario y la evaluación del impacto se consideran en conjunto. La fase de interpretación debe indicar la consistencia de los resultados de acuerdo a los aspectos definidos en las fases de objetivo y alcance. Es necesario realizar conclusiones, explicar limitaciones y recomendaciones

Capítulo 3

3. METODOLOGIA

En esta capítulo se establece el objetivo y el alcance del ciclo de vida organizacional de Complejo Legaría así como la función y límites del sistema, unidad de reporte, categorías de impacto, datos utilizados para la modelación de las categorías de impacto, procedimiento de recopilación de datos y consideraciones del estudio.

La metodología planteada se basa en tres etapas siguiendo los parámetros establecidos en la norma ISO 14072 y en la Guía de Análisis de Ciclo de Vida Organizacional de las Naciones Unidas (Martinez, B., Finkbeiner, M., Inaba, A., 2015); la primera etapa se enfoca al análisis del ciclo de vida de la organización, es decir el ciclo de vida del Complejo Legaria de Banco de México, la segunda etapa consiste en la obtención de los indicadores para la Ciudad de México, con datos para la delegación Miguel Hidalgo, y la tercera etapa es determinar cuál es el aporte del Complejo Legaria a los indicadores de la Delegación junto con las recomendaciones.

La Figura 11, presenta las etapas metodológicas que se llevarán a cabo para la realización del análisis de ciclo de vida organizacional.

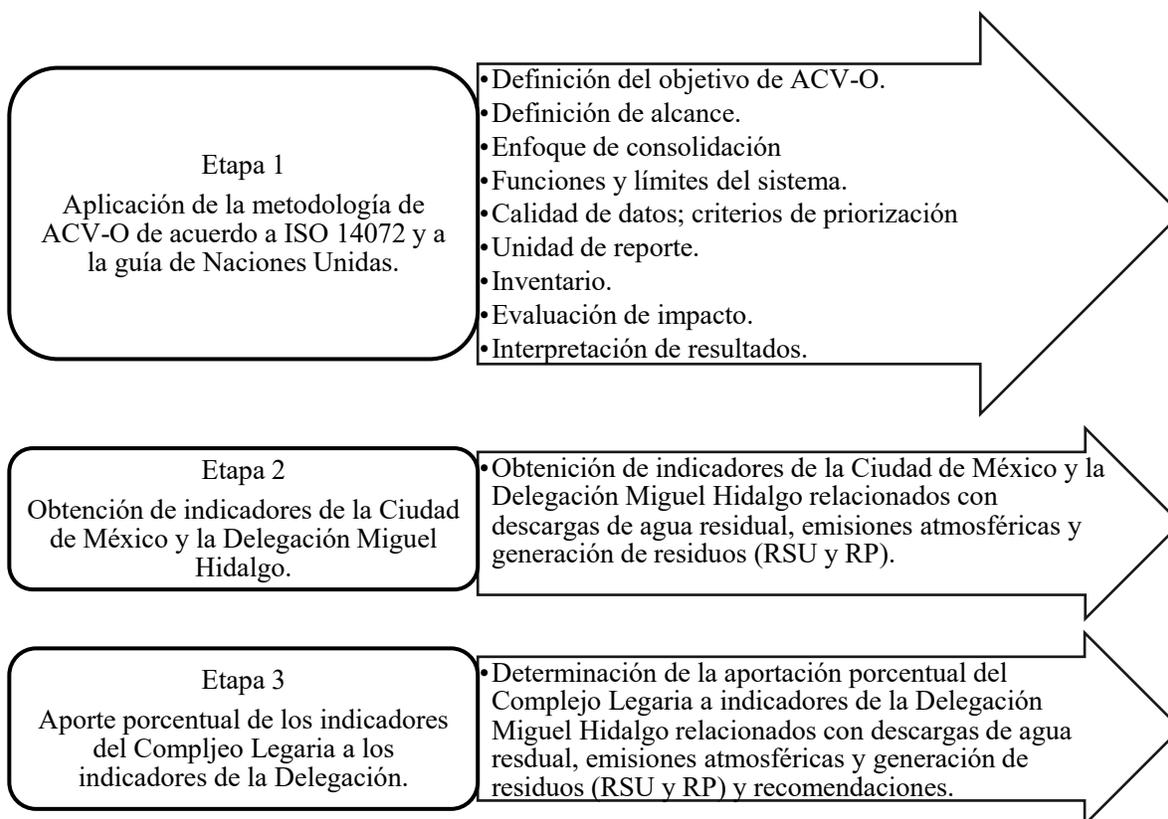


Figura 11. Metodología para la evaluación del desempeño ambiental del Complejo Legaria.

3.1. Objetivo del ACV-O

Evaluar el desempeño ambiental del Complejo Legaria de Banco de México utilizando la metodología de Análisis de Ciclo de Vida Organizacional y comparar los resultados con indicadores ambientales de la Ciudad de México y la Delegación Miguel Hidalgo (descargas de agua residual, generación de emisiones atmosféricas y residuos sólidos).

Proponer alternativas para el mejoramiento del desempeño ambiental en el Complejo Legaria, en áreas donde el impacto ambiental sea significativo, considerando: los flujos de entrada de materia y energía así como las emisiones al aire, las descargas al agua y los residuos generados en cada uno de los procesos de ciclo de vida (fabricación de materias primas, transporte, macro proceso de provisión de billetes, recolección y las diferentes estrategias de disposición final).

3.2. Alcance del ACV-O

Para este trabajo se evalúa el desempeño ambiental del Complejo Legaria de Banco de México.

3.3. Funciones del sistema

Dentro del organigrama del Banco de México, la Dirección General de Emisión es la encargada de las actividades del diseño, fabricación, distribución y destrucción de billetes, esta última actividad se realiza en la Caja Central ubicada en el Complejo Legaria y en 6 Cajeros Regionales. Así mismo, Complejo Legaria se encuentra subdividida en diferentes módulos (áreas o departamentos) que cumplen con las funciones de dar soporte a la fabricación de billetes.

3.4. Enfoque de consolidación

Banco de México posee control absoluto de las operaciones físicas y económicas de sus instalaciones, por lo que el enfoque de consolidación tomaría en cuenta el 100% del Complejo Legaria.

3.5. Límites del sistema

Para el análisis de ciclo de vida organizacional del Complejo Legaria se considera el ciclo de vida completo del producto principal y de los insumos de las áreas que pertenecen a la organización, en ese sentido se tiene en cuenta las etapas de extracción de materias primas, el proceso de fabricación del producto principal, la etapa de uso, el regreso del producto, y la disposición final, tomando en cuenta todas las entradas y salidas de cada uno de los procesos unitarios así como el transporte requerido (Figura 12).

3.6. Calidad de los datos

Los datos del ciclo de vida de los billetes, fueron obtenidos por medio de encuestas a proveedores de materias primas. Los proveedores del sustrato de algodón se encuentran en Europa (Alemania, Francia, Suecia, Inglaterra y España), el proveedor de sustrato polimérico se ubica en Australia.

Los desplazamientos aéreos o terrestres de los empleados del Complejo Legaria no fueron tomados en cuenta para el inventario.

En cuanto a los límites geográficos, los datos para la construcción del inventario de los billetes y de los insumos utilizados en los 9 módulos varían en función de la ubicación del proveedor

3.7. Uso de criterios de priorización

Para las actividades directas de la organización, no se utilizaron criterios de priorización. Para las actividades indirectas corriente abajo, no se evaluó el consumo de energía de los cajeros automáticos.

Para los insumos de los módulos, fueron consideradas las distancias de transporte de materias primas a Banco de México.

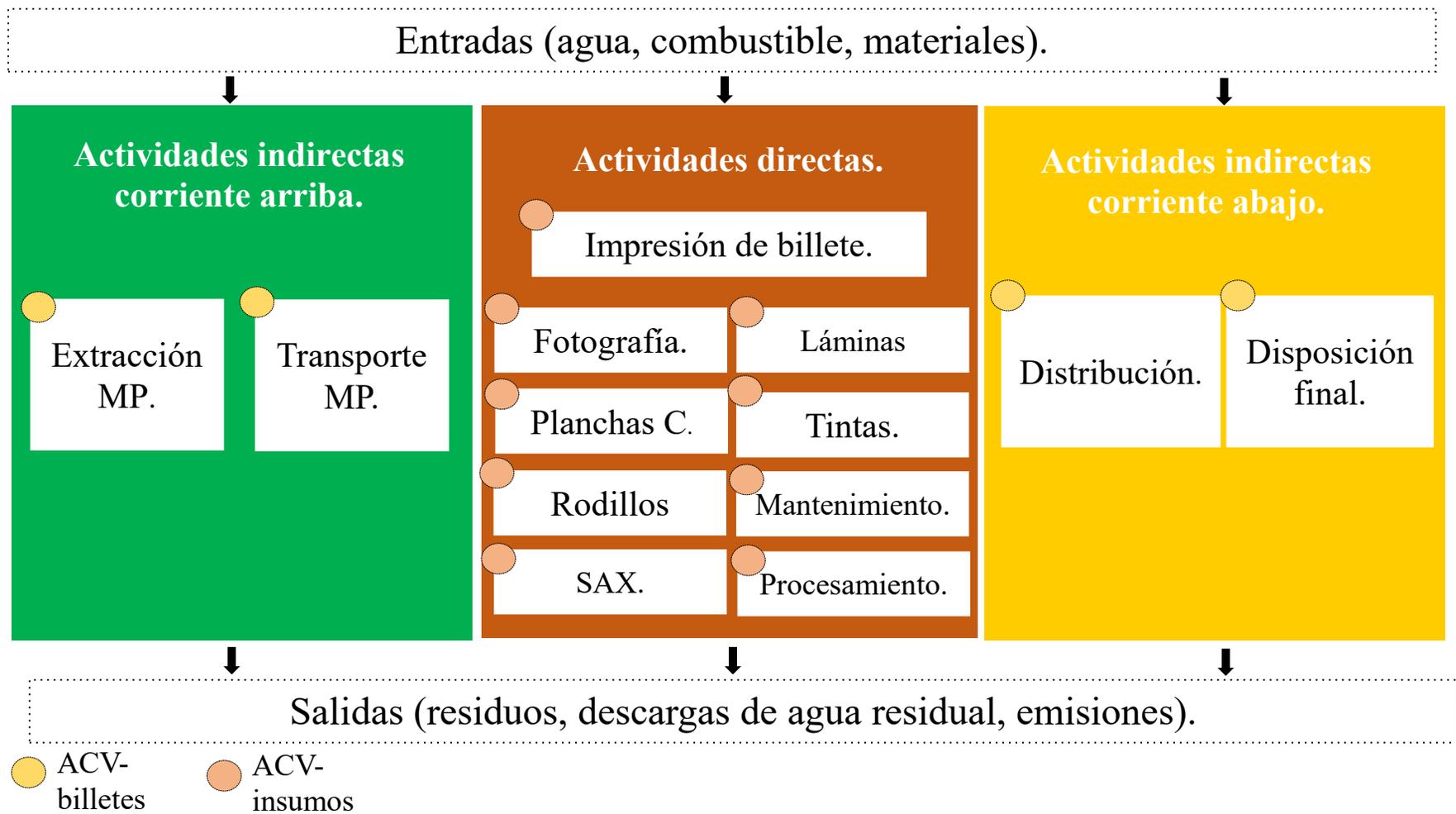


Figura 12. . Límites del sistema de ACV-O del Complejo Legaria.

*Plancas C: Planchas Calcográficas;

*SAX: Servicios auxiliares y de administración

Límites temporales

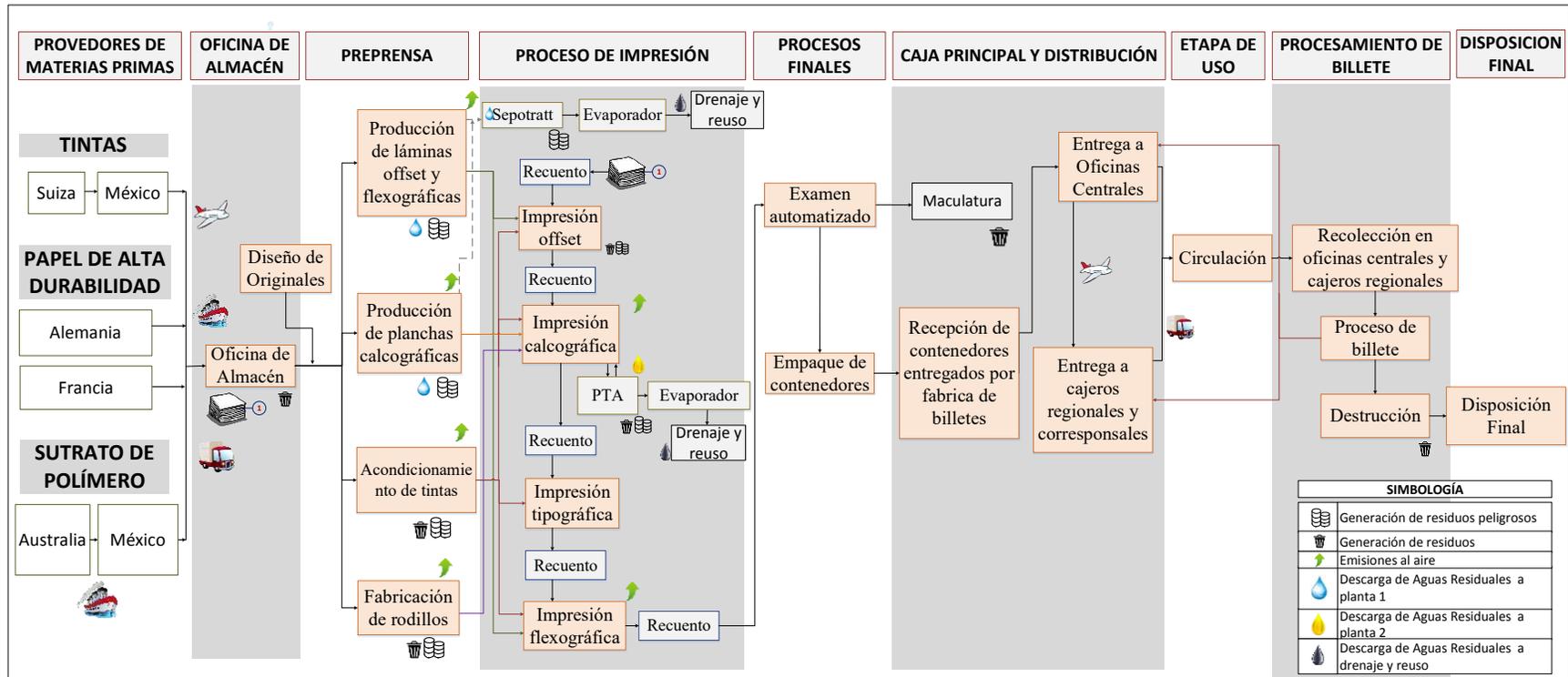
El año de referencia para los datos utilizados en la elaboración del inventario de ciclo de vida organizacional corresponde a la información representativa de los insumos para 9 módulos evaluados en el Complejo Legaria y las actividades corriente arriba (extracción de materias primas y transporte de materias primas) y corriente abajo (distribución y disposición final) y que corresponde al año 2013; este año se toma como referencia debido que corresponde al año en donde los datos son más completos y de mayor calidad.

Límites geográficos

La distribución y uso del producto principal se delimita a México. Los datos correspondientes a las materias primas y los insumos que ingresan a cada una de las áreas se producen en diferentes partes del mundo, por lo cual la cobertura geográfica varía en función de la ubicación de las plantas de producción de cada insumo.

Límites tecnológicos

Corresponde a la tecnología actual utilizada en la fábrica para el desarrollo de las actividades. En la Figura 13 se muestran los procesos involucrados en la fabricación del producto principal.



*PTA: Planta de tratamiento de aguas.

Figura 13. Procesos involucrados en la fabricación de los billetes en el Banco de México. (Luján Cristina 2015).

Descripción de la Organización

La Dirección General de Emisión del Banco de México está dividida en 4 direcciones:

- Dirección de Fábrica de Billetes: encargada de las actividades de diseño e impresión de las diferentes denominaciones de billetes mexicanos
- Dirección de Seguridad: encargada de brindar la seguridad a las actividades del Banco de México.
- Dirección de Administración –de Emisión: encargada de las actividades administrativas y auxiliares. (comedores, laboratorios, oficinas)
- Dirección de programación y Distribución de Efectivos: encargada de la logística de distribución de billetes en todo el país, su retorno y destrucción. Esta Dirección cuenta con una Caja Central ubicada en el Complejo Legaria y 6 Cajeros Regionales ubicados en el interior del país.

Gran parte de las actividades de la Dirección General de Emisión se realizan en el Complejo Legaria, al que se enfoca este estudio, debido a los siguientes aspectos:

1. La disponibilidad de datos de las instalaciones
2. La relevancia de los impactos ambientales de Complejo Legaria ya que se trata de la única área de Banco de México en la cual se realizan procesos industriales (Fábrica de Billetes), cuyos impactos ambientales son significativamente mayores a los generados por las oficinas centrales y cajeros regionales en donde solo existen oficinas.

Así mismo en la Fábrica de Billetes se fabrican las denominaciones de 20,50, 100, 200, 500 y 1000 pesos. Para dar soporte a esta actividad la Fábrica cuenta con áreas y departamentos (ahora denominados módulos), que consumen diferentes tipos de insumos (papel de oficina, químicos de laboratorio, detergente, alimentos, etc.) y generan diferentes cargas ambientales (Tabla 3).

Tabla 3. Módulos que conforman el Complejo Legaria de Banco de México de acuerdo a la clasificación de la cédula de operación anual (COA) del año 2013.

Dirección	Módulo perteneciente
Dirección Fábrica de Billetes	Impresión de billete (IMP) Fotografía (FT) Fotograbado fabricación de láminas (FG) Planchas calcográficas. (PC) Acondicionamiento de tintas. (AT)

	Fabricación de rodillos. (FR) Mantenimiento. (MN)
Dirección de Administración de Emisión Dirección de Seguridad	Servicios auxiliares y de administración. (SAX)
Dirección de Programación y distribución de efectivos	Proceso de billete. (PB)

A continuación se describe cada módulo que conforma el Complejo Legaria así como las etapas de distribución y disposición final:

Todo el proceso inicia con los diseños de los billetes nuevos así como las modificaciones y cambios de elementos de seguridad. En estos procesos se generan los diseños con base en el tipo de impresión en el que se van a efectuar y la tinta utilizada.

Posteriormente se fabrican los preliminares que corresponden a los elementos utilizados para dar las formas y los detalles generales a cada una de las denominaciones de billetes mexicanos. Para la fabricación de cada uno de estos elementos y para dar función a la distribución y logística de la organización, el Complejo Legaria se divide en los siguientes módulos:

Planchas Calcográficas (PC)

En este módulo se fabrican las láminas y planchas que serán utilizadas durante el proceso de impresión. Estas planchas son grabadas mediante tecnología láser sobre una placa metálica, que posteriormente es rolada, rectificada y pulida, para después ser sometida a un baño de cromo hexavalente. Finalmente, después de ser cromada, la plancha es revisada y sometida a las adaptaciones necesarias para ser montadas en las máquinas de impresión.

Fotografía (FT)

En el módulo de fotografía se desarrollan actividades de armado de múltiple digital, positivo en lámina trimetálica, filmado en fotocomponedora, proceso fotográfico mecanizado, positivo en offset seco, negativo múltiple para offset y revisión para entrega a fotograbado.

Fotograbado (FG)

En esta área se fabrican las láminas litográficas. Se utilizan un promedio de 7 láminas nyloprint en la impresión litográfica, 4 placas intaglio y 4 chablonés para la impresión calcográfica, así como dos láminas de recubrimiento flexográfico por cada tiro de impresión.

Fabricación de rodillos (FR)

En esta área se fabrican dos tipos de rodillos, unos que servirán para entintar las placas calcográficas en el área de impresión y otras para eliminar el exceso de tinta en las placas de impresión calcográfica.

Los rodillos constan de capas de polímero con formulación especial que permite proporcionar la textura y dureza adecuada para una óptima impresión.

Para el proceso de producción de rodillos, inicialmente se cuenta con un perno metálico, el cual es recubierto con polímero previamente formulado. El perno es montado en un horno rotatorio el cual precalienta el metal para posteriormente agregar las diversas capas de sustancia.

Cuando el rodillo finalizado posee las capas necesarias de polímero y se encuentra completamente seco, se le proporciona un rectificado para obtener un espesor uniforme y una textura lisa que permita realizar una limpieza completa de las placas de impresión calcográfica.

Acondicionamiento de tintas (AT)

En este módulo se desarrolla la formulación de tintas a partir de los colores básicos (rojo, verde, azul y amarillo), estos insumos son integrados al proceso como materias primas. La Fábrica de Billetes maneja 4 tipos de tintas: calcográficas, litográficas, tipográficas y de recubrimiento.

En el proceso de impresión, es recuperada la tinta que se ha endurecido en la superficie de los contenedores, a este tipo de tinta dura se le denomina “costra”, la tinta endurecida es llevada nuevamente al área de tintas para su acondicionamiento donde es integrada nuevamente a la cadena de suministro.

Una de las actividades que se desarrollan en este módulo es la inactivación de las tintas que no cumplen con las características necesarias para reintegrarse al proceso de impresión.

Por otro lado, el módulo de tintas cuenta con un laboratorio de pruebas, en este se realizan los análisis necesarios a cada formulación de tintas.

Impresión de billetes (IMP)

En esta área se realizan los diversos tipos de impresión que conforman al billete. Como primer paso, la maquina litográfica es alimentada con hojas de sustrato en donde se imprimen

los fondos del anverso y reverso, requiriendo posterior a la impresión, de un tiempo de secado en bóvedas con temperatura y humedad controlada.

Una vez secas las hojas, éstas son alimentadas a la máquina de impresión calcográfica en el cual, por medio de toneladas de presión se imprime el prócer, marca para videntes, y demás elementos con relieve que brindan un efecto de tactilidad.

Solo algunas denominaciones poseen un proceso de impresión serigráfica, mientras que la impresión tipográfica se realiza en todas las denominaciones, imprimiendo un número de folio en cada billete para hacerlo único e irrepetible.

Mantenimiento (MN)

En este módulo se realizan comprobaciones, mediciones, reemplazos, ajustes y reparaciones de los equipos y demás elementos utilizados por Complejo Legaria.

Servicios auxiliares y de administración (SAX)

En este módulo, se encuentran los sub-módulos que brindan servicios administrativos, técnicos y de seguridad. Dentro de los departamentos que soportan las actividades se encuentran el comedor, el laboratorio de calidad, las oficinas, jardinería, documentos fiduciarios y el stand de tiro.

Proceso de Billeto (PB)

Cuando los billetes regresan a los bancos comerciales a través de depósitos o pagos, se realiza la separación de aquellos que presentan un grado notorio de desgaste, enviándose a equipos procesadores propios del Banco de México para su destrucción que transforman el billete en delgadas tiras de papel o polímero conocido como maculatura.

En cuanto a las actividades indirectas corriente abajo, el inventario se construye a partir de las siguientes etapas:

Distribución (DT)

Banco de México cuenta con un esquema de distribución en el que participan la Oficina Central y seis sucursales llamadas Cajeros Regionales, las cuales, están ubicados estratégicamente en todo el territorio mexicano y a su vez distribuyen los billetes a sus respectivos bancos corresponsales los cuales actúan a nombre de Banco de México y son administrados por el Banco Central; solo fue considerado el uso de la electricidad de las máquinas de procesamiento de los Cajeros Regionales.

La distribución de billetes se hace por vía terrestre y aérea tanto a las Cajas Regionales como a sus Corresponsales, en ese modo, los bancos comerciales pueden acudir a una sucursal o corresponsal del Banco de México para retirar billetes. Posteriormente los bancos comerciales entregan o reciben los billetes del público a través de sus ventanillas y cajeros automáticos cubriendo de esta manera, una distribución completa del dinero en todo el territorio nacional (Banco de México, 2013).

Disposición final (DF)

Los residuos de billetes son dispuestos en relleno sanitario en la zona central del país, mientras que los residuos peligrosos son enviados a tratamiento y disposición en un relleno sanitario al norte de México.

3.8. Unidad de reporte organizacional

Flujo de reporte

Se tomó como flujo de reporte la cantidad total en kilogramos de billetes fabricados en el año 2013, es decir 1,200,000 kg.

Por otro lado, para los 9 módulos, se evaluó la totalidad de los insumos más relevantes utilizados en el mismo periodo de tiempo (2013).

En ese sentido, se otorgan cargas ambientales no solo al proceso de fabricación de billetes, sino que también a las actividades administrativas, evaluando el ciclo de vida de los insumos como papel utilizado en oficinas, productos químicos utilizados en laboratorio e incluso las balas utilizadas en el sub-módulo de seguridad.

De acuerdo al numeral 3.3.1, sección D de la guía de ACV-O “Actividades involucradas”, se recomienda evaluar actividades y operaciones que no están involucrados directamente con la producción de productos, sino que representan departamentos o áreas que son claves para la operación de la organización. Al evaluar a este tipo de actividades se obtiene una visión más amplia de los impactos ambientales para el diseño de estrategias de mitigación

3.9. Metodología para la evaluación de impacto

Para la evaluación del impacto del Análisis de Ciclo de Vida Organizacional se utilizó el método ReCiPe v1.08, punto medio puesto que es un método actualizado y completamente rediseñado a partir de los modelos CML 2002 y Ecoindicator 99, cuyas guías metodológicas son extensamente aceptadas además de ser un método versátil que permite elegir entre un análisis de punto medio y un análisis de punto final.

3.10. Elección de las categorías de impacto e indicadores

La elección de las categorías de impacto se hace de acuerdo a problemáticas ambientales de alcance local y global que son considerados como fuente de información relevante para Banco de México.

Las categorías de impacto elegidas para el estudio del Análisis de Ciclo de Vida del Complejo Legaria se encuentran en la Tabla 4.

Tabla 4. Categorías de impacto elegidas para el ACV-O del Complejo Legaria.

Categoría de Impacto	Categoría	Unidad de la categoría	Factor de caracterización
Ocupación agrícola.	OA	m ³ a (tierra agrícola por año).	Potencial de ocupación de tierras agrícolas.
Cambio climático.	CC	kg (CO ₂ al aire).	Potencial de calentamiento global.
Agotamiento de combustible fósil.	AF	kg (petróleo crudo).	Potencial de agotamiento de combustible fósil.
Eutrofización de agua dulce.	EAD	kg (P al agua dulce).	Potencial de eutrofización de agua dulce.
Toxicidad humana.	TH	kg (1,4-DB al aire urbano).	Potencial de toxicidad humana.
Agotamiento de recursos minerales.	AM	kg (Fe eq).	Potencial de agotamiento de recursos minerales.
Reducción de la capa de ozono.	RO	kg (CFC-11 al aire).	Potencial de reducción de la capa de ozono.
Formación de oxidantes.	FOF	kg (COVNM al aire).	Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos.
Acidificación terrestre.	AT	kg (SO ₂ al aire).	Potencial de acidificación terrestre.

Categoría de Impacto	Categoría	Unidad de la categoría	Factor de caracterización
Eco toxicidad terrestre.	ET	kg (1-4 DCB eq al suelo industrial).	Potencial de eco toxicidad terrestre.
Agotamiento de agua.	AA	m ³ (agua).	Potencial de agotamiento de agua.

Categorías de impacto a nivel de punto medio

Estas categorías evalúan la magnitud del impacto generado de manera directa a un mecanismo ambiental, sin tomar en cuenta las repercusiones que éstas puedan ocasionar a la salud humana o al ecosistema. Por ejemplo, para la categoría de reducción de la capa de ozono, el impacto por punto medio se determina cuantificando el potencial que una sustancia tiene para destruir la capa de ozono teniendo en cuenta el tiempo de residencia en la atmósfera y el agotamiento de ozono estratosférico. Sin embargo, esta categoría no analiza las consecuencias que esta emisión pueda generar a la salud humana y en el ecosistema después de un tiempo determinado.

Para la caracterización de impactos a nivel punto medio se define la siguiente expresión.

$$I_m = \sum_i Qm_i m_i \quad (1)$$

Donde,

m_i , Es la magnitud de la intervención.

Qm_i , Factor de caracterización que conecta la intervención i con la categoría de impacto de punto medio m .

I_m , Indicador resultante para la categoría de impacto de punto medio m .

Categorías de impacto a nivel de punto final

Estas categorías analizan los daños que se generan a los componentes finales del mecanismo ambiental; por ejemplo el impacto que la acidificación terrestre pueda ocasionar a la salud de las personas y al equilibrio en los ecosistemas. Los resultados pueden ser expresados como la pérdida de nutrientes y productividad de cierta área de tierra debido a los impactos ocasionados por la acidificación en suelos dado por las siguientes reacciones químicas.



De esta manera el dióxido de azufre se oxida por el oxígeno presente en la atmósfera y la luz solar dando lugar al trióxido de azufre que en contacto con la humedad del aire se precipita en forma de ácido sulfúrico afectando el pH de suelos (valores menores a 5).

Existen dos procedimientos de caracterización de los impactos a nivel de punto final, el primero es sin la intervención de los cálculos de punto medio y la fórmula es:

$$I_e = \sum_i Q_{ei} m_i \quad (2)$$

Donde,

m_i , Es la magnitud de la intervención i .

Q_{ei} , Es el factor de caracterización que conecta la intervención i con la categoría de impacto de punto final e .

I_e , Es el indicador resultante para la categoría de impacto de punto final e .

El segundo procedimiento para caracterizar los impactos a nivel de punto final es partiendo del cálculo de puntos intermedios:

$$I_e = \sum_m Q_{em} I_m \quad (3)$$

Donde,

I_m , Es el resultado del indicador de punto medio en la categoría de impacto m .

Q_{em} , Es el factor de caracterización que conecta la categoría de impacto m a nivel punto medio con la categoría de impacto e a nivel punto final.

I_e , Es el indicador resultante para la categoría de impacto de punto final e .

A continuación se presentará como el método ReCiPe evalúa los impactos para las diferentes categorías que se tendrán en cuenta en el presente estudio.

Ocupación de suelo agrícola

La categoría de impacto por uso de suelo refleja el daño ocasionado a los ecosistemas debido a los efectos de ocupación y transformación de suelo. Aunque existen varios factores que influyen en el uso del suelo y pérdida de biodiversidad, el modelo de caracterización se basa en los siguientes mecanismos:

Ocupación de un área determinada durante un tiempo definido: se refiere al uso continuo de un área de suelo, sin especificar lo que era antes, por falta de datos.

Transformación de una determinada superficie: representa la conversión de un estado a otro y el tiempo que se necesitaría para restaurar el área transformada. La restauración puede ser un proceso totalmente natural o puede ser ayudado mediante la adopción de medidas que aceleren dicho proceso.

Ambos mecanismos se pueden combinar, a menudo la ocupación sigue de una transformación, sin embargo, la ocupación se produce en un área que ya ha sido convertida (transformada). En tales casos no se asigna ningún impacto por la transformación del sistema de producción que ocupa una superficie.

Para la caracterización del uso de suelo el modelo utiliza el enfoque CML. Aitor, P., et al (2014). Este enfoque expresa el daño como “el potencial de desaparición de una fracción de especies” (PDF) por m^2 o m^2a (metro cuadrado de tierra por año). Para el impacto por uso de suelo, este factor de caracterización (PDF) debe ser multiplicado con el valor de ocupación agrícola como se muestra a continuación:

$$\text{Impacto por ocupación} = os * PDF \quad (4)$$

Donde,

os, es ocupación de suelo agrícola (m^2).

El potencial de fracción de especies desaparecidas es influenciado por la relación área-especies, llamada también “island bio-geographical theory”. Esta relación se describe mediante el número de especies presentes y el tamaño del área.

$$S = cA^z \quad (5)$$

Donde,

- S, representa el número de especies.
- A, corresponde al tamaño del área (m^2).
- c, número de especies.
- z, factor de acumulación de especies en función del tamaño del área.

Al aplicar la relación área-especies se asume que se realiza un daño al ecosistema debido a que este no se puede restaurar a su estado inicial. Si el número de especies en la zona ocupada es menor al inicial se considera la ocupación como un daño. La magnitud del daño depende de la relación área-especies.

Cuando se evalúa el efecto de la ocupación de un área de suelo se analizan las diferencias presentadas en el entorno respecto al estado inicial o zona de referencia, durante el periodo que esta área se encuentra ocupada presentándose estos dos efectos:

El efecto regional debido a la diferencia del tamaño si hay o no ocupación. Es decir, la ocupación restringe el tamaño de uso de suelo de referencia (entorno natural), pero no aumenta el tamaño del área utilizada.

El efecto local que se refiere al número de especies en el área ocupada el cual depende de los valores c y z para un tipo de uso i , comparándose con el número de especies existentes si la zona no estuviera ocupada.

El daño por ocupación de suelo se determina mediante la siguiente ecuación:

$$ED_{occ} = t * A_r \frac{\Delta S_r}{S_r} \quad (6)$$

Donde,

ED_{occ} representa el daño ambiental causado por la ocupación de suelo.
 A_r la magnitud del área de referencia.
 S_r el número de especies de la región.
 ΔS_r , la diferencia entre el número de especies existentes en el estado de referencia y el estado actual.

El daño por transformación de suelo se calcula con la siguiente ecuación:

$$ED_{tans} = \left(z_o + \frac{c_o - c_i A_0^{z_i - z_o}}{c_o} \right) * A_{trans} * t_{rest} \quad (7)$$

El factor de caracterización se define como.

$$CF_{tans} = \left(z_o + \frac{c_o - c_i A_0^{z_i - z_o}}{c_o} \right) t_{rest} * SD \quad (8)$$

El valor del factor de acumulación de especies z puede variar entre 0.1 y 0.4, dependiendo del tamaño del área y el tipo de uso, se recomienda un valor de 0.25 como una buena suposición para z . Koellner et al (2007).

Cambio Climático

El cambio climático se define como el cambio de la temperatura global del planeta causado por los gases de efecto invernadero emitidos por actividades humanas. Entre los impactos del cambio climático se encuentran derretimientos de los casquetes polares, aumentos en los niveles del mar, desertificación, aumento de los fenómenos meteorológicos como huracanes, entre otros Acero P (2014).

ReCiPe evalúa esta categoría de impacto en cuatro pasos que se describen a continuación:

Paso 1: Forzamiento radiativo:

El forzamiento radiativo se define como la variación del flujo descendente neto (onda corta más onda larga) en la tropopausa, tras permitir que las temperaturas estratosféricas se reajusten hasta alcanzar el equilibrio radiativo mientras se mantienen fijas otras variables de estado, como las temperaturas troposféricas, el vapor de agua y la cubierta de las nubes IPCC (2013). El forzamiento radiativo se utiliza para cuantificar la variación del balance energético de la Tierra que se produce como consecuencia de un cambio de origen externo. Se expresa en vatios por metro cuadrado ($W m^2$).

En el IPCC toma en cuenta el forzamiento radiativo de una sustancia y su tiempo de residencia en el ambiente. El factor de equivalencia es utilizado como un factor de caracterización que causa un impacto de punto medio. El impacto se expresa como Potencial de Calentamiento Global o Global Warming Potential (GWP) y se calcula de acuerdo a la fórmula 9.

$$GWP_{x,T} = \frac{\int_0^T a_x x [x(t)] dt}{\int_0^T a_r x [r(t)] dt} \quad (9)$$

Donde,

$GWP_{x,T}$, representa el potencial de calentamiento global de una sustancia x .

T , es el horizonte de tiempo sobre el cual es considerado el cálculo.

a_x , es la eficiencia de radiación debida a un aumento de una unidad de la sustancia en la atmósfera ($Wm^{-2} kh^{-1}$).

$x(t)$, es la abundancia de la sustancia x dependiente del tiempo.

El GWP de varios gases de efecto invernadero puede ser comparado para determinar cuál causará el mayor forzamiento radiativo en un determinado periodo de tiempo. El forzamiento radiativo es obtenido de modelos de transferencia de infrarrojo basados en mediciones en laboratorio que tienen en cuenta propiedades y pesos moleculares de las sustancias.

La Tabla 5 muestra los principales compuestos que contribuyen al calentamiento global en relación al tiempo, su eficacia radiativa y su efecto respecto al CO₂ según IPCC.

Tabla 5. Potenciales de Calentamiento Global relacionados con el CO₂.

Sustancia.	Tiempo (años).	Eficacia radiativa (W m ⁻² ppb ⁻¹).	GWP100.
CO ₂ .	ver abajo ^a .	b1.4E-05	1
CH ₄ .	12.4	3.70E-04	34
N ₂ O.	114	3.03E-03	310
Principales sustancias controladas por el Protocolo de Montreal.			
CFC-11.	45	0.25	3800
Halon – 1301.	65	0.30	5400
Tetracloruro de carbón.	26	0.13	1400
Bromuro de metilo.	0.7	0.01	5
Cloroformo de metilo.	5	0.06	146
HCFC-22.	12	0.20	1500
HFC-23.	270	0.19	11700
Hidrocarburos y otros compuestos – Efectos directos.			
Dimetilo de éter.	0.015	0.02	1
Cloruro de metileno.	0.38	0.03	31
Cloruro de metilo.	1	0.01	45

Fuente: Adaptada de IPCC. (2007).

^aLa función de la respuesta de CO₂ utilizada en esta tabla se basa en la versión revisada del modelo del ciclo de carbono de Bern utilizando una concentración de CO₂ con un valor de 378 ppm. El deterioro de un pulso de CO₂ con el tiempo está dado por:

$$a_0 + \sum_{i=1}^a a_i * e^{-t/t_i}$$

Donde a₀= 0.217, a₁=0.259, a₂= 0.338, a₃=0.186, t₁=172.9 años, t₂=18.51 años, y t₃=1.186 años, para t < 1 años.

^bLa eficiencia radiativa del CO₂ se calcula utilizando la expresión simplificada del (IPCC,1990), con un valor de concentración actualizado de 378 ppm y una perturbación de +1 ppm.

^cEl tiempo de perturbación del CH₄ es de 12 años. El PCM del CH₄ incluye efectos indirectos de mejoras de ozono y vapor de agua en la estratósfera.

Paso 2: Factor de temperatura.

El factor de temperatura expresa la relación entre la emisión de CO₂ y su efecto en la temperatura, este se expresa como:

$$TF = LT_{CO_2} * \frac{\Delta TEMP_t}{\sum E_{CO_2}} \quad (10)$$

Donde,

- TF, es el factor de temperatura para 1 kg de CO₂ (en °C*año*kg⁻¹).
- LT_{CO₂}, la línea de tiempo de CO₂ (año).
- ΔTEMP_t, el cambio en promedio de la temperatura entre la situación presente y la situación en el tiempo t (°C).
- E, la masa anual de CO₂ (kg/yr).

La segunda parte del factor de temperatura es el cambio causado por una emisión durante un determinado periodo de tiempo. De acuerdo a Meinshausen (2005) el impacto de la mitigación está definido como la emisión de carbón evitada en un periodo de tiempo t sobre la temperatura. De esta manera, el factor ΔTEMP_t puede ser calculado por:

$$\Delta TEMP_t = c * \sum_t E_{CO_2} \quad (11)$$

Donde,

- c, (°C/kg), representa la sensibilidad de la mitigación.
- E, la cantidad másica de carbón mitigado sumado sobre el periodo durante la cual la emisión tiene lugar.

Como resultado, la relación entre las emisiones de CO₂ y el cambio de temperatura depende de la sensibilidad de mitigación de CO₂. La segunda parte del factor de temperatura puede ser obtenido como:

$$\frac{\Delta TEMP_t}{\sum_t E} = \frac{c * \sum_t E_{CO_2}}{\sum_t E_{CO_2}} = c \quad (12)$$

Así mismo, el factor de temperatura para el CO₂ se puede calcular de la siguiente forma

$$TF = 7.09 - 16 * 150 = 1.064E - 13^{\circ}C * \text{año} * kg^{-1} \quad (13)$$

Por otro lado, el cambio climático tiene diversos efectos en la salud humana, algunos actúan de manera directa como las olas de calor y la contaminación del aire. La frecuencia e intensidad de los efectos depende de la región y del tiempo. Schryver et al (2009).

Paso 3: Daños a la salud humana

El cambio climático puede tener diferentes efectos sobre la salud humana, algunos de estos son las olas de calor, y alergias por polución. De igual forma el ser humano puede adquirir enfermedades a través del agua o por vectores, sin embargo, al ser cambios no drásticos y que suceden en periodos largos de tiempo, el ser humano es capaz de adaptarse, no obstante el riesgo sigue presente. Algunos de los efectos del cambio climático son:

- Malnutrición.
- Diarrea.
- Enfermedades cardiovasculares.
- Problemas respiratorios.
- Enfermedades por vectores (malaria, dengue, fiebre amarilla).
- Enfermedades transmitidas por roedores (leptospirosis, encefalitis).

El factor utilizado para calcular el daño causado por el cambio climático a la salud humana se denomina DALY (Disability-Adjusted Life Year por sus siglas en inglés). Este factor puede ser obtenido como:

$$DF_{HH} = \frac{\Delta IMPACT}{\Delta TEMP} = \frac{\Delta Att. B_{tot}}{\Delta T} \quad (14)$$

Donde,

- DF_{HH} , es el daño a la salud humana [daly/año °C].
- ΔT , la diferencia marginal en el aumento de temperatura entre el escenario de referencia (1990) y el escenario de emisiones escogido para el año 2030.
- $\Delta Att. B_{tot}$, el cambio marginal a la carga atribuible de que una determinada población adquiera una enfermedad, dependiendo del escenario elegido para el 2030.

La carga atribuible se puede definir como:

$$Att. B_{r,h} = (RR_{r,h} - 1) * BoD_{r,h} \quad (15)$$

Donde,

$Att. B_{r,h}$, la carga atribuible en la región r y para el efecto a la salud h durante un año.
 RR, el riesgo para el escenario de emisión escogido.
 BoD, carga de enfermedad, para cada región r y para el efecto a la salud h durante un año.

El BoD puede ser descrito como el número de DALYs perdidos a la enfermedad para el factor de riesgo de interés, durante el periodo de referencia 1990.

$$Att. B_{tot} = \sum Att. B_{r,h} \quad (16)$$

Donde,

$Att. B_{tot}$, representa la carga global atribuible, para los efectos de la salud debido a cierto incremento en la temperatura.

Los factores de riesgo relativo (RR) dependen del escenario de emisiones y de temperatura elegidos. Los factores RR se encuentran publicados en el informe “Cambio climático y salud humana” M.Michael et al (2003). El método ReCiPe considera seis regiones diferentes en el mundo y cinco efectos a la salud; puesto que el cambio climático es de impacto global se consideran los riesgos para cada región en específico. Los DALY’s para el periodo de referencia 1990 se derivan del reporte “The Global Burden of Disease” de Murray, J.L et al, (1996).

Paso 4: Daños a la diversidad de los ecosistemas

Existen varios factores que vinculan el cambio climático con la pérdida de especies principalmente por el aumento de la temperatura y el impacto en las condiciones meteorológicas.

El factor para el daño a los ecosistemas debido al cambio climático vincula los cambios marginales en temperatura a los cambios marginales en la desaparición de una fracción de especies. Este factor puede ser definido como:

$$DF_{Es} = \frac{\Delta IMPACT}{\Delta TEMP} * SD_{terr} = \frac{\Delta Damage_{eco}}{\Delta T} * SD_{terr} = \frac{\Delta PDF * AREA * SD_{terr}}{\Delta T} \quad (17)$$

Donde,

- DF_{ES} , es el factor de daño para ecosistemas [$1/^\circ C$].
 ΔPDF , es el cambio marginal de una fracción potencial de desaparición de especies.
 $AREA$, es el área total del planeta, excluyendo las áreas donde no hay especies.
 SD_{terr} , es la densidad de especies.

Eutrofización de agua dulce

La eutrofización es la acumulación de altas concentraciones de nutrientes como amonio (NH_4^+), nitratos (NO_3^-), óxidos de nitrógeno (NO_x) y fósforo (P) en un ecosistema acuático, esta acumulación de nutrientes genera un excesivo crecimiento de plantas (algas) trayendo consigo la reducción de la calidad del agua y la disminución de la población de peces y otros animales.

Existen varias rutas por las que compuestos de P y N pueden llegar al agua. Una de ellas es la emisión a través del suministro de nutrientes en tierras agrícolas principalmente para el riego con aguas residuales tratadas, las cuales ingresan a los cuerpos de agua por escorrentía superficial y lixiviación, así como la deposición atmosférica; sin embargo, influye la textura del suelo, la pendiente y el tipo de uso entre otros factores. Ambas rutas de emisión realizan un aporte significativo a los sistemas de agua dulce.

El modelo de caracterización utilizado para esta categoría se denomina CARMEN (Cause Effect Relation Model to Support Environmental Negotiations). Este modelo calcula el cambio de la carga de nutrientes en las aguas subterráneas, aguas continentales y costeras, de igual manera modela el transporte de nutrientes agrícolas y la deposición atmosférica.

Con CARMEN es posible evaluar el factor de persistencia de eutrofización (FF_x en año/ km^3), el cual hace referencia al incremento de la concentración dC_{xj} en t/km^3 en un sistema acuático expuesto a un aumento de la tasa de emisión dM_x ($t/año$).

$$FF_x = \frac{dC_{x,j}}{dM_x} \quad (18)$$

Esta ecuación se aplica para evaluar el factor destino del agua marina y de agua dulce por separado. Los resultados obtenidos utilizando el modelo revelan que una alta concentración de 10,000 g/L inhibe la aparición de cualquiera de las especies de la macro fauna, incluso si todas las demás condiciones son óptimas. En un rango entre 300 y 10,000 g/L se presenta una disminución significativa del número de especies debido a que se presenta una ausencia de los requisitos esenciales para la vida acuática de invertebrados. Bausen, (2005).

Toxicidad humana

La categoría de toxicidad humana es un índice calculado que refleja el daño potencial de una sustancia química liberada en el medio ambiente, y que se basa en la toxicidad inherente de un compuesto y su dosis letal. Algunos de los subproductos que causan toxicidad en los seres humanos son el arsénico (As), dicromato de sodio ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), el fluoruro de hidrógeno (HF), entre otros.

Los seres humanos se ven afectados por estos compuestos cuando son inhalados, ingeridos, o por simple contacto causando que la probabilidad de sufrir de cáncer, enfermedades de tipo respiratorio, digestivo, entre otros aumente. Esta categoría de impacto es medida en 1,4 equivalentes de diclorobenceno. Aitor, et al (2014).

Los factores de caracterización para la toxicidad humana y la eco toxicidad contabilizan la persistencia ambiental (destino), la acumulación en la cadena alimenticia humana (exposición) y la toxicidad (efecto) de un químico. La variación en estado estacionario de la concentración en un entorno ambiental debido a la emisión del contaminante se define como el factor de persistencia específica para el entorno y se determina de la siguiente manera. Mark A, (2005).

$$F_{j,i,x} = \frac{\partial c_{j,x}}{\partial M_{i,x}} \quad (19)$$

Donde,

- $F_{j,i,x}$, representa la fracción de consumo de población humana en una escala geográfica (g), incluyendo el transporte de una sustancia x a través de la ruta de consumo r (kg.dia^{-1}) en una escala g.
- $c_{j,x}$, es el cambio marginal en la concentración disuelta en estado estable de la sustancia x en el compartimiento j (kg.m^{-3}).
- $M_{i,x}$, es el cambio marginal en la emisión de la sustancia x al compartimiento i (kg.año^{-1}).

Por otro lado el concepto de DALY (Human Health Damage) se utiliza para evaluar los daños a la salud humana, el daño causado por un número de enfermedades es expresado en DALY_{ov} y puede expresarse de la siguiente manera:

$$\text{DALY}_{ov} = N_{pop} * \sum_e \text{DALY}_e * R_e \quad (20)$$

Donde,

- DALY_{ov} , es una medida de daño general a la población humana.
- N_{pop} , corresponde a la población expuesta.
- DALY_e , es el daly por enfermedad de tipo e.

R_e , es la probabilidad de ocurrencia de enfermedad de tipo e en la población humana.

$DALY_e$ es la suma de los años de vida perdidos (TLL_e) y los daños de incapacidad (TLD_e) a causa de una enfermedad tipo e . El método incluye 49 tipos de enfermedades.

$$DALY_e = YLL_e + YLD_e \quad (21)$$

El factor de caracterización humana para una sustancia x emitida se relaciona con el factor de persistencia y el factor de daño.

$$CF_{r,i,x,g/nc} = F_{r,i,x,g} * E_{r,x,c/nc} \quad (22)$$

Donde,

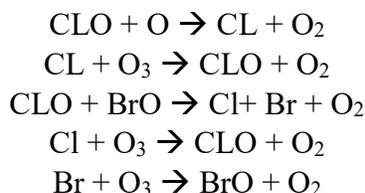
$CF_{r,i,x,g/nc}$, representa el factor de caracterización humano para efectos cancerígenos y no cancerígenos a un escala g que representa el transporte de una sustancia x a través de una ruta de ingesta r , ya sea ingestión o inhalación, de las emisiones anuales de i (año.kg⁻¹).

Reducción de capa de ozono

Se sabe que la capa de ozono absorbe la mayor parte de los rayos ultravioleta provenientes del sol protegiendo a los sistemas biológicos de la radiación. Zuev Zueva et al (2015). El ozono se genera y destruye constantemente por acción de la luz solar y reacciones químicas en la estratósfera. La reducción de la capa de ozono ocurre cuando el rango de destrucción de ozono incrementa debido a la emisión de sustancias antropogénicas que persisten en la atmósfera.

Si los rayos ultravioleta no son absorbidos podrían generar problemas a la salud humana relacionados con cáncer de piel, cataratas y debilitamiento del sistema inmunológico, así mismo puede dañar la flora terrestre y los ecosistemas acuáticos. Fahey (2002).

Los factores de caracterización para el agotamiento de la capa de ozono representan la destrucción de la capa de ozono en la estratósfera a causa de las emisiones de origen antropogénico. Estos productos son químicos recalcitrantes que contiene átomos de cloro y bromo los cuales tienen un periodo largo de permanencia en la atmósfera y reaccionan con la misma formando los clorofluorocarbonos (CFC) y liberando Cl y Br. A continuación se presentan las reacciones que generan la degradación de la capa de ozono.



El potencial de agotamiento de ozono se ha definido como una medida relativa de la capacidad de agotamiento del ozono y utiliza el CFC-11 como sustancia de referencia.

En el método ReCiPe 2008, se tienen en cuenta únicamente impactos a la salud humana y no se evalúan otros ejes ya que su incertidumbre es muy alta (por ejemplo daños a los ecosistemas o la flora). Para la caracterización de los daños, se toman en cuenta factores de protección como el color de piel y hábitos culturales. Van Dijk, (2007).

Para el cálculo de la exposición de los rayos UV se tienen en cuenta variables como la altitud así como también características demográficas, tendencias, densidad de población, el promedio de edad y la expectativa de vida. También el color de la piel es tenido en cuenta.

El modelo para el cálculo de la exposición UV solo tiene en cuenta un factor universal para todos los tipos de cáncer de piel. Lo anterior resulta en una relación para el factor de protección como función del tipo de piel.

$$f_{prot} = 10^{-0.0321(SkinRefl-66)} \quad (23)$$

Donde,

SkinRefl, es la reflectancia de la piel en porcentaje 0.66.

El factor de equivalencia obtenido en este modelo corresponde al Potencial de Agotamiento de Ozono (ODP), el cual es una medida relativa para determinar el potencial que una sustancia presenta para destruir la capa de ozono, comprende el tiempo de residencia en la atmósfera y el agotamiento de ozono estratosférico y se puede calcular por medio de la siguiente ecuación.

$$\Delta ODP_j = \sum_{i \in j} \Delta m_i * ODP_i(\infty) \quad (24)$$

Donde,

Δm_i , la cantidad evitada de odsi (ozone depletion substances) del grupo j desde 2003 en adelante.

$ODP_i(\infty)$, el factor de equivalencia de ods i (kg cfc-11 eq por kg de odsi).

El modelo de caracterización determina la relación entre el daño a la salud y la desviación de los rayos UV, en el caso de las cataratas la relación es más certera que en el caso del cáncer de piel.

Formación de oxidantes fotoquímicos

La formación de oxidantes fotoquímicos se debe principalmente a la presencia de O₃ en la tropósfera. El ozono fotoquímico es formado por la reacción de compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno en presencia de calor y luz solar. Los valores en la categoría de impacto dependen de la cantidad de contaminantes de monóxido de carbono (CO), dióxidos de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO), amonio y compuestos orgánicos volátiles distintos al metano (COVNM). Modelos de trayectoria desarrollados por la UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) son utilizados para la predicción del destino de las sustancias contaminantes y son expresados en la unidad de referencia kg etileno equivalente (C₂H₄ eq). Aitor P et al (2014).

La Tabla 6 resume de manera general la categoría de impacto de la formación de oxidantes fotoquímicos.

Tabla 6. Esquema general de la formación de oxidantes fotoquímicos

Categoría de impacto	Formación de oxidantes fotoquímicos
Definición.	Smog troposférico creado a partir de la luz solar, el calor, los COVNM y NO _x .
Consideraciones.	Meteorológicas, composición química de la atmósfera y las emisiones de otros contaminantes.
Categorías de daño a punto final (endpoint).	Daños a la salud humana y a la calidad de los ecosistemas.
Unidades.	kg de etileno equivalente. kg de COVNM. kg de ozono formado.

Acidificación terrestre

La acidificación en el suelo se debe a la deposición atmosférica de sustancias inorgánicas, como los sulfatos, nitratos y fosfatos los cuales cambian el pH en el suelo afectando a las especies animales y vegetales. Los gases ácidos como el dióxido de azufre (SO₂) reaccionan con agua en la atmósfera para formar “lluvia ácida”. El potencial de acidificación terrestre se expresa en dióxido de azufre equivalente (SO₂ eq).

En la categoría de acidificación se emplea el modelo de Base Saturación (BS) como indicador para expresar acidez. BS es el grado en el que la adsorción de un suelo está saturado con cationes básicos, distintos al hidrógeno y aluminio. BS se define como la suma de cationes

básicos (BCeq/kg suelo), dividida entre la capacidad de intercambio catiónico del suelo (CECeq/kg suelo), multiplicado por 100:

$$BS = \frac{BC}{CEC} = \frac{[K] + [Ca] + [Mg] + [Na]}{[H] + [K] + [Ca] + [Mg] + [Na]} \quad (25)$$

A mayor BS, mayor cantidad de cationes básicos presentes en el suelo, lo cual mejora la capacidad reguladora para los equivalentes ácidos.

A nivel de punto medio el potencial de acidificación terrestre se expresa en SO₂ equivalentes y por lo tanto el área es independiente. El cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$TAP = \frac{FF_x}{FF_{SO_2}} \quad (26)$$

Donde el factor de acidificación a nivel punto medio (FF_x) se obtiene de la siguiente manera:

$$FF_x = \frac{\sum_j (\Delta BS_j * A_j)}{\Delta M_x} \quad (27)$$

El factor de caracterización a nivel de punto final para una sustancia acidificante x (CF_x en años.kg⁻¹) por una superficie forestal j (A_j en m²) y el promedio de la densidad de especies terrestres SD_{terr} /especies/m²) se calcula con la siguiente ecuación:

$$CF_x = \frac{d \text{ especies}}{d M_x} = SD_{terr} * \sum_j A_j * \frac{dDEP_j}{dM_x} * \frac{dBS_j}{dDEP_j} * \frac{dPDF}{dBS_j} \quad (28)$$

Donde,

A_j, es el tamaño del área de bosque (m²).
SD_{terr} es la densidad de especies.

Agotamiento de agua

De manera general, el uso del agua ha sido investigado en términos de impacto ambiental en unidades de masa o volumen, sin un análisis de caracterización posterior que pondere los diferentes caudales de uso para tener en cuenta las diferencias importantes entre los tipos de

fuentes del recurso y los lugares de uso. Sin embargo, la categoría de impacto uso de agua, está estructurada para capturar el uso significativo del agua en las zonas de baja disponibilidad.

En esta categoría se utiliza un indicador que consiste en la cantidad de agua utilizada. Se considera el tipo de recurso utilizado; agua de lago, agua de río, agua subterránea o agua de origen natural no especificada.

Agotamiento de recursos minerales

Los minerales se forman a través de procesos geológicos que tienen una composición química característica, una estructura altamente ordenada y propiedades físicas específicas. Estos elementos estuvieron presentes cuando se formó la Tierra, posteriormente al enfriarse, los procesos geológicos crearon áreas en las cuales quedaron concentrados los minerales conocidos comúnmente como minas.

El hombre generalmente extrae primero los mejores recursos y deja para futuras extracciones los de menor calidad, por lo que el daño a los recursos será para las generaciones futuras las cuales tendrán que realizar mayores esfuerzos por extraer los recursos minerales que queden. Este esfuerzo extra recibe el nombre de energía de más. Por lo que el potencial de agotamiento de recursos minerales se refiere a la energía de más por kg de mineral extraído, como resultado de la disminución del nivel de minerales.

El método analiza la extracción de minerales de depósitos naturales mediante el aumento de los costos de extracción de los productos básicos. Este costo puede ser calculado multiplicando el aumento del costo de extracción por una cantidad que se extrae durante un periodo de tiempo determinado.

$$Agotamiento\ RM = \sum_{t=1}^T \left(\frac{\Delta C_{kg}}{\Delta Y_{kg}} * P_{kg,t} * \Delta Y_{kg} * \frac{1}{(1+d)^t} \right) \quad (29)$$

Donde,

ΔC_{kg}	representa el incremento del costo (\$/kg).
ΔY_{kg}	es la masa del material extraído (kg).
$P_{kg,t}$	la cantidad de recurso extraída en un año t (kg/año).
d	es la tasa de disminución.
T	periodo considerado en (años).

El daño ocasionado por extracción de recursos minerales se expresa en USS\$.

El factor de caracterización para la extracción de recursos minerales expresado en términos de masa se define como:

$$CF_{kg} = \sum_{t=1}^T \left(MCl_{kg} * P_{kg,t} * \frac{1}{(1+d)^t} \right) \quad (30)$$

Donde MCl_{kg} se refiere al incremento en el costo marginal (\$/kg).

La metodología ReCiPe se enfoca en el agotamiento de depósitos de diversos minerales tomando en cuenta la distribución geológica real de los metales, es expresado en Fe-equivalentes. Goedkoop et al, (2009).

Ecotoxicidad terrestre

Esta categoría evalúa los efectos de compuestos tóxicos sobre los ecosistemas terrestres. El factor transporte tiene especial relevancia ya que los contaminantes tóxicos no permanecen en el medio (aire, suelo, agua superficial, etc.) donde fueron emitidos sino que pueden desplazarse y afectar a otros sistemas. Algunos compuestos pueden ser más dañinos en un medio diferente al de su emisión.

El efecto de la eco toxicidad debido a los cambios en la producción de bienes y servicios se divide en tres factores.

$$\frac{\partial PDF_{tox}}{\partial C_x} = \frac{\partial PDF_{tox}}{\partial TU_K} * \frac{\partial TU_K}{\partial C_x} \quad (31)$$

Donde,

TU_K , representa la toxicidad efectiva (en unidades toxicológicas) de un grupo de contaminantes con el mismo modo de acción.

C_x , es la concentración de una sustancia x en el ambiente con modo de acción k.

El valor típico de $\frac{\partial PDF_{tox}}{\partial C_x}$ es 0.55 unidades de efectos tóxicos por unidad añadida de sustancia x por modo de acción o tipo de ecosistema.

Agotamiento de combustibles fósiles

La evaluación de esta categoría se basa en el cambio proyectado de la extracción de recursos de fuentes convencionales a fuentes no convencionales. La extracción de fuentes no convencionales en mayor parte de los casos requiere energía intensiva y mayores costos, lo cual significa que el uso de fuentes no convencionales no es viable, siempre y cuando el precio de los combustibles no sea lo suficientemente alto para cubrir los costos de producción.

3.11. Software utilizado

Para la evaluación del impacto de ciclo de vida (EICV), fue utilizado el software “Umberto NXT LCA” versión 7.1, programa desarrollado por la empresa “ifu Hamburg”, que permite obtener el perfil de impacto de ciclo de vida, mediante el uso de bases de datos de inventario propias (creadas por el usuario) y bibliográficas (Ecoinvent v3.1, 2013), bajo la metodología ReCiPe v.1.08.

3.12. Calidad de datos

Los datos utilizados para el desarrollo del inventario de ciclo de vida organizacional fueron recabados con la mayor precisión, representatividad y coherencia en relación a la definición del objetivo y alcance de estudio. Los datos fueron recopilados siguiendo el procedimiento establecido por la norma ISO 14072 y por la guía de análisis de ciclo de vida organizacional de la UNEP y la SETAC.

3.13. Procedimiento de recopilación de datos

Para el desarrollo del inventario de ciclo de vida organizacional se realizó una revisión exhaustiva de documentos como la Cédula de Operación Anual (COA), Licencia Ambiental Única para el Distrito Federal (LAUDF) y los resultados de análisis realizados por laboratorios acreditados que brindan servicios al Complejo Legaria en materia de emisiones al aire y residuos peligrosos.

Con la información obtenida de los documentos anteriormente mencionados se recabaron datos de emisiones al aire, descargas al agua y generación de residuos municipales, de manejo especial y peligroso. De la producción total de cada contaminante se realizó un reparto másico entre la producción total de billetes de todas las denominaciones, también se tuvo en cuenta el total de insumos utilizados para cada uno de los departamentos del Complejo Legaria para el año 2013.

Para la obtención de datos de entradas y salidas de los proveedores de billete de la fábrica, se elaboraron cuestionarios específicos para cada uno de ellos. Para los datos faltantes se implementó la base de datos de ACV Ecoinvent v3.1 así como referencias bibliográficas del proceso de producción de algunos insumos.

3.14. Consideraciones del estudio

Con respecto al consumo energético se realizó la repartición de la energía del suministro externo dividido entre los 9 módulos que conforman el Complejo Legaría.

Para datos relacionados con el área del comedor se tuvo en cuenta el consumo total por alimentos (carnes, lácteos, verduras, postres) y se realizó una repartición del total de los alimentos entre los encontrados en las bases de datos de ecoinvent v 3.1.

Asignación

La asignación se realiza para los residuos que son repartidos por módulos. El Complejo Legaría reporta datos globales de descargas de agua residual, residuos sólidos urbanos y peligrosos y emisiones atmosféricas. Del global, se reparte esta contaminación a cada módulo tomando como punto de referencia información obtenida en documentos oficiales que son presentados a la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México. Los porcentajes asignados son los que se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Asignación de las emisiones, descargas y residuos por módulo, en porcentaje.

Módulos	Emisión al aire	Descarga de agua residual	Generación de residuos peligrosos	Generación de residuos sólidos
Impresión	8.70	4.55	19.23	33.33
Fotografía	N/R	13.64	11.54	N/R
Fotograbado	13.04	18.18	15.38	N/R
Planchas calcográficas	21.74	27.27	19.23	4.76
Acondicionamiento de tintas	4.35	N/R	7.69	9.52
Fabricación de rodillos	4.35	N/R	7.69	14.29
Mantenimiento	26.09	13.64	3.85	4.76
Proceso de billete	N/R	N/R	N/R	14.29
Servicios auxiliares y de administración	21.74	22.73	15.38	19.05

*N/R: No reporta

Supuestos y limitaciones

- Las distancias de los insumos utilizados en los módulos, corresponden a promedios de distancias de la empresa que fabrica el insumo hasta que éste llega a Complejo Legaria.
- Se realizó un reparto del consumo eléctrico global entre los módulos de la organización, excepto proceso de billete. En el módulo de proceso de billete se obtuvo el inventario de los equipos encargados de la destrucción de los billetes donde fueron utilizados datos del voltaje y corriente para el cálculo del consumo energético por año.
- Los residuos peligrosos fueron enviados a tratamiento en un relleno sanitario al norte del país, mediante convenio con el proveedor encargado del manejo de residuos peligrosos.
- No fueron consideradas las instalaciones administrativas, los Cajeros regionales y los Bancos Corresponsales.

Generación de indicadores para la Ciudad de México

La adquisición de este tipo de indicadores se realizó a través de revisión bibliográfica. Se obtuvo información de reportes académicos y gubernamentales para datos reportados en la Ciudad de México y en la Delegación Miguel Hidalgo. Algunas de las fuentes fueron:

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. SEMARNAT.
- Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. PROFEPA.
- Universidad Nacional Autónoma de México.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

Los indicadores que se analizaron para la Delegación Miguel Hidalgo fueron:

- Agua.
- Energía.
- Generación de residuos.
- Generación de descargas de aguas residuales.
- Generación de emisiones contaminantes a la atmósfera.

Capítulo 4

4. INVENTARIO

En este capítulo es detallado el procedimiento utilizado para la construcción del inventario del ciclo de vida organizacional del Complejo Legarí considerando las actividades indirectas corriente arriba (up-stream), corriente abajo (down-stream) y actividades directas (direct-stream). A continuación se especifica cada uno de los procesos y materiales para cada una de las actividades.

4.1. Actividades indirectas (Corriente arriba)

Para el desarrollo de las actividades corriente arriba se tuvieron en cuenta las materias primas y el transporte de los sustratos del billete de algodón y de polímero. En las Tabla 8, 9 y 10 se hace mención de los materiales considerados de acuerdo a las bases de datos de Ecoinvent v3.1.

Tabla 8. Procesos incluidos en el ciclo de vida organizacional para el billete de algodón AD.

Etapa del ciclo de vida	Proceso Unitario	Procesos incluidos	Fuentes de información/módulos Ecoinvent 3.1
Extracción de materias primas.	Extracción de materias primas para papel AD.	Describe la electricidad disponible para la obtención de 1kWh en una región determinada.	Electricidad de alto voltaje (Alemania).
		Manufactura de pinturas, barnices y similares.	Producción de barniz acrílico.
		Cosecha y producción de algodón.	Producción de fibra de algodón.
		Suministro de vapor y aire acondicionado basado en los combustibles líquidos.	Gas natural (Europa).
		Manufactura de químicos básicos.	Producción de químicos básicos.
	Producción de papel AD.	Entradas y salidas del proceso (electricidad, agua, gas natural, insumos, residuos).	Proveedor de papel de AD.
		Tratamiento y disposición de residuos peligrosos.	Residuos peligrosos para incineración.

	Producción de tintas.	Manufactura de pinturas, barnices y similares.	Producción de tintas para impresión offset.	
	Producción de planchas calcográficas.	Fundición de lingotes de latón.	Producción de latón.	
	Producción de planchas y láminas offset.	Producción de acero al cromo 18/8.	Producción de hoja de acero, 2mm.	
		Proceso de extracción de materias primas hasta la entrega en la planta.	Producción de hoja de polimetil metacrilato.	
	Empaques.	Describe la electricidad disponible para la obtención de 1 kWh en una región determinada.	Electricidad de alto voltaje, mix [US].	
		Extracción de materias primas hasta la entrega en planta.	Producción de nylon.	
		Materias primas, transporte, proceso de extrusión.	Producción de película para embalaje, polietileno de baja densidad.	
		Tratamiento y eliminación de residuos no peligrosos.	Residuo de cartón.	
		Gestión de residuos sólidos, incineración.	Residuo de polietileno.	
		Contenedores.	Describe la electricidad disponible para la obtención de 1 kWh en una región determinada.	Electricidad de alto voltaje, mix [US].
	Extracción de gas natural.		Gas natural.	
	Fabricación de plásticos y caucho sintético.		Producción de polietileno de baja densidad, granulado.	
	Industria básica de hierro y acero.		Producción de varilla de acero.	
	Fabricación de metales preciosos y no férreos.		Producción de hoja de aluminio.	
	Transporte de importación de materias primas.	Transporte.	Transporte de carga por aire, tierra y/o mar de las materias primas de Banco de México (sustrato de tintas, planchas de latón, planchas y láminas, empaques y contenedores).	Transporte de carga, camión 3.5 – 7.5t
				Transporte de carga, tren eléctrico (Europa).
				Transporte de carga aéreo
				Transporte de carga, camión 16-32 t.
				Transporte de carga, buque transoceánico.

Tabla 9. Procesos incluidos en el ciclo de vida organizacional para el billete de polímero.

Etapa del ciclo de vida.	Proceso Unitario.	Procesos incluidos.	Fuentes de información/módulos Ecoinvent 3.1.
Extracción de materias primas.	Producción de polímero.	Describe la electricidad disponible para la obtención de 1kW en una región determinada.	Electricidad de alto voltaje, mix [AU].
		Suministro de vapor y aire acondicionado basado en los combustibles líquidos.	Gas natural.
		Desde la extracción de materias primas hasta la entrega en planta.	Producción de polipropileno granulado.
		Energía utilizada en el proceso.	Proceso de extrusión de película plástica.
		Gestión de residuos/incineración.	Disposición de mezcla de residuos plásticos.
		Transporte y disposición final.	Disposición de residuos de polietileno y polipropileno.
		Tratamiento y disposición final de residuos no peligrosos.	Disposición de residuos de pintura como residuos, incineración.
		Tratamiento y disposición final de residuos peligrosos.	Tratamiento por incineración.
	Producción de tintas.	Manufactura de pinturas, barnices y similares.	Producción de tinta para impresión offset.
	Producción de planchas de latón.	Fundición de lingotes de latón.	Producción de latón.
	Producción de planchas y láminas.	Producción de acero al cromo 18/8.	Producción de hoja de acero, 2mm.
		Proceso de extracción de materias primas hasta la entrega en la planta.	Producción de hoja de polimetil metacrilato.
	Empaques.	Describe la electricidad disponible para la obtención de 1kW en una región determinada.	Electricidad, alto voltaje, mix [US].

		Extracción de materias primas hasta la entrega en planta.	Producción de nylon.
		Materias primas, transporte proceso de extrusión.	Producción de película para embalaje, polietileno de baja densidad.
		Tratamiento y eliminación de residuos no peligrosos.	Residuo de cartón.
		Generación de residuos sólidos, incineración.	Residuos de polietileno.
	Contenedores.	Describe la electricidad disponible para la obtención de 1kW en una región determinada.	Electricidad, alto voltaje, mix [US].
		Extracción de gas natural.	Gas natural.
		Fabricación de plásticos y caucho sintético.	Producción de polietileno de baja densidad, granulado.
		Industria básica de hierro y acero.	Producción de varilla de acero.
	Fabricación de metales preciosos y no féreos.	Producción de hoja de aluminio.	
Transporte de importación de materias primas.	Transporte.	Transporte de carga por aire, tierra, y/o mar de las materias primas de Banco de México (Sustrato, tintas, planchas de latón, planchas y láminas, empaques y contenedores).	Transporte de carga, camión 3.5 – 7.5t
			Transporte de carga, tren eléctrico (Europa).
			Transporte de carga aéreo.
			Transporte de carga, camión 16-32 t.
			Transporte de carga, buque transoceánico.

Tabla 10. Procesos para el transporte de insumos de punto de origen a Complejo Legaría.

Etapa del ciclo de vida.	Proceso Unitario.	Procesos incluidos.	Fuentes de información/módulos Ecoinvent 3.1.
Transporte de materias primas para departamentos del Complejo Legaría.	Transporte insumos de origen a Complejo Legaría.	Transporte de carga por tierra de (alimentos, insumos por departamento).	Transporte de carga, camión 16-32 t.
			Transporte de carga aéreo.
			Transporte de carga marítimo.

4.2. Actividades directas

En esta etapa, el inventario fue dividido entre el número de módulos (9 módulos) que forman parte del Complejo Legaria y que son reportados en la Cédula de Operación Anual. Los módulos de documentos fiduciarios, stand de tiro, oficinas, baños y laboratorios fueron integrados al módulo de servicios auxiliares y de administración.

Las tablas que a continuación se muestran (de la Tabla 11 a la Tabla 21), contienen los materiales que forman parte de los 9 módulos y de las actividades de distribución y disposición final de billetes reportados en la COA en el año 2013 y que forman parte del inventario del ciclo de vida organizacional (ICV-O); se puede apreciar el nivel de detalle con el que fueron ingresados los materiales al software de Umberto así como el tipo de material considerado en la base de datos de Ecoinvent v 3.1.

Tabla 11. Materiales de entrada y salida del módulo de impresión de billete.

MÓDULO	MATERIAL DE ENTRADA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
Impresión de billete	Acetona	63.60	kg	acetone,liquid
	Amoniaco anhídrido	1.93	kg	ammonia, liquid
	Cloruro de calcio	4,033.00	kg	calcium chloride
	Polímero catiónico	5,950.00	kg	cationic resin
	Diésel	2,329.60	kg	diésel, low-sulfur
	Dipropileno glicol monomethyl éter	390.00	kg	dipropylene glycol monomethyl ether
	Electricidad	706,489.56	kWh	electricity, high voltaje
	Etanol	119.07	kg	etanol, without wáter, in 99.7% solution state, from fermentation
	Película de poliolefina termoencogible	1,780.00	kg	extrusion, plastic film
	Grasa mobilux EP 2	192.00	kg	fatty alcohol
	Isopropanol	6,613.19	kg	isopropanol
	Hidrocarburos	2,167.28	kg	light fuel oil
	Gas nafta	1,960.88	kg	naphtha
	Solvente nafta	39.52	kg	naphtha
Papel de alta durabilidad	949,126.20	kg	material creado en el software	

MÓDULO	MATERIAL DE ENTRADA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
Impresión de billete	Planchas de latón	559.26	kg	material creado en el software
	Planchas y láminas	359.54	kg	material creado en el software
	Tinta Injet para impresora código de barras	24.30	kg	printing ink, offset, without water, solvent, in 47.5% solution state
	Tensoactivo	600.00	kg	soap
	Cloruro de sodio	1,000.00	kg	sodium chloride, powder
	Hidróxido de sodio	117,142.40	kg	sodium hydroxide, without water, in 50%, solution state
	Ácido sulfúrico	100.45	kg	sulfuric acid
	Sulfato de polímero	286,933.70	kg	material creado en el software
	Tinta offset	138,584.70	kg	material creado en el software
	Transporte de materias primas a México	2,415.89	kg	material creado en el software
	Transporte de residuos urbanos y peligrosos	11,253.01	tkm	material creado en el software
	Agua	1,349.45	m ³	water, unspecified natural origin [natural resource/in water]

MÓDULO	MATERIAL DE SALIDA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
Impresión de billete	Billete impreso	1,200,000	kg	Material creado en ecoinvent
	Metal ferroso	66,818.12	kg	metal working average for metal product manufacturing
	DBO	0.19	kg	BOD5, Biological Oxygen Demand [water/surface water]
	Dióxido de carbono	29,237.84	kg	Carbon dioxide, fossil [air/urban air close to ground]
	Monóxido de carbono	4.47	kg	Carbon monoxide, non-fossil [air/urban air close to ground]
	Cromo III	0.00	kg	Chromium [air/urban air close to ground]
	Cromo VI	0.06	kg	Chromium VI [air/urban air close to ground]
	Residuos sólidos municipales	3,889.68	kg	Municipal solid waste
	Óxidos de nitrógeno	20.58	kg	Nitrogen oxides [air/urban air close to ground]
	Grasas y aceites	0.18	kg	Oil, unspecified [water/unspecified]

MÓDULO	MATERIAL DE SALIDA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
Impresión de billete	Partículas suspendidas totales	8.26	kg	Particulates, >10 um [air/urban air close to ground]
	Lodos	211,854.64	kg	Sludge from pulp and paper production
	Disolventes orgánicos usados	438.88	kg	Spent solvent mixture
	Sólidos suspendidos totales	0.23	kg	Suspended solids, unspecified [water/surface water]
	Compuestos orgánicos volátiles	704.84	kg	VOC, volatile organic compounds, unspecified origin [water/unspecified]
	Residuos de agentes secantes para pinturas, lacas, barnices, masillas para resanar y productos derivados	24.38	kg	waste Paint, collection for hazardous waste incineration
	Papel	6,554.18	kg	waste paper, sorted
	Cartón	11,089.92	kg	waste paperboard
	Plásticos	9,941.38	kg	waste plastic, mixture
	Algodón y trapo	255.50	kg	waste textile, soiled
	Madera	56,828.06	kg	waste wood, untreated

Tabla 12. Materiales de entrada y salida del módulo de fotografía.

MÓDULO	MATERIAL DE ENTRADA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
Fotografía	Acido acético	80.04	kg	acetoacetic acid
	Carbonato de potasio	149.40	kg	potassium carbonate
	Agua	4,048.35	m ³	water, unspecified natural origin [natural resource/in wáter]
	DBO	0.38	kg	BOD5, Biological Oxygen Demand [water/surface water]
	Grasas y aceites	0.71	kg	Oil, unspecified [water/unspeified]
	Lodos	202.29	kg	Sludge from pulp and paper production
	Disolventes orgánicos usados	263.33	kg	Spent solvent mixture
	Sólidos suspendidos totales	0.90	kg	Suspended solids, unspecified [wáter/surface water]

Tabla 13 Materiales de entrada y salida del módulo de fotograbado.

MÓDULO	MATERIAL DE ENTRADA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
Fotograbado	Amoniaco anhidro	1.93	kg	ammonia, liquid
	Electricidad	706,489.56	kWh	electricity, high voltaje
	Isopropanol	8.49	kg	isopropanol
	Limpiador líquido brasso	0.50	kg	light fuel oil
	Placas nyloprint	1,570.50	kg	polymethyl methacrylate, sheet
	Silicato de sodio	578.10	kg	sodium silicate, without wáter, in 48% solution state
	Agua	5,397.80	m ³	water, unspecified natural origin [natural resource/in wáter]
	MATERIAL DE SALIDA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
	DBO	0.77	kg	BOD5, Biological Oxygen Demand [water/surface water]
	Dióxido de carbono	43856.77	kg	Carbon dioxide, fossil [air/urban air close to ground].

MÓDULO	MATERIAL DE SALIDA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
Fotografado	Monóxido de carbono	6.70	kg	Carbon monoxide, non-fossil [air/urban air close to ground]
	Cromo III	8.30E-05	kg	Chromium [air/urban air close to ground]
	Cromo VI	0.09	kg	Chromium VI [air/urban air close to ground]
	Óxidos de nitrógeno	30.87	kg	Nitrogen oxides [air/urban air close to ground]
	Grasas y aceites	0.71	kg	Oil, unspecified [water/unspecified]
	Partículas suspendidas totales	12.78	kg	Particulates, >10 um [air/urban air close to ground]
	Lodos	269.71	kg	Sludge from pulp and paper production
	Disolventes orgánicos usados	351.10	kg	Spent solvent mixture
	Sólidos suspendidos totales	0.91	kg	Suspended solids, unspecified [water/surface water]
	Compuestos orgánicos volátiles	1,057.26	kg	VOC, volatile organic compounds, unspecified origin [water/unspecified]
	Residuos de agentes secantes para pinturas, lacas, barnices, masillas para resanar y productos derivados	19.50	kg	waste Paint, collection for hazardous waste incineration

Tabla 14. Materiales de entrada y salida del módulo de planchas calcográficas.

MÓDULO	MATERIAL DE ENTRADA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
Planchas calcográficas	Aditivo estabilizador para placa super orlof counter matrix	29.25	kg	1-propanol
	Ácido acético	480.00	kg	acetoacetic acid
	Placa super orlof counter matrix	602.00	kg	brass
	Electricidad	706,489.56	kWh	electricity, high voltaje
	Etanol	63.12	kg	etanol, without wáter, in 95% solution state, from fermentation
	Limpiador líquido brasso (Hidrocarburo)	0.57	kg	heavy fuel oil
	Ácido muriático industrial 30-36 % grado técnico (Ácido clorhídrico)	87.05	kg	hydrochloric acid, without wáter, in 30% solution state
	Peróxido de hidrógeno	149.00	kg	hydrogen peroxide, without water, in 50% solution state
	Isopropanol	8.49	kg	isopropanol
	Limpiador líquido brasso (Hidrocarburo)	0.50	kg	light fuel oil
	Gas nafta	980.44	kg	naphtha
	Niquel compuestos	758.43	kg	nickel, 99.5%
	Agente de limpieza de planchas	10.85	kg	soap
	Cloruro de sodio	50.00	kg	sodium chloride, powder

MÓDULO	MATERIAL DE ENTRADA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
Planchas calcográficas.	Hidróxido de sodio grado técnico	25.00	kg	sodium hydroxide, without wáter, in 50% solution state
	Ácido sulfúrico	312.96	kg	sulfuric acid
	Tricloroetileno	30.25	kg	trichloroethylene
	Agua	4,048.35	m ³	water, unspecified natural origin [natural resource/in wáter]
	MATERIAL DE SALIDA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
	Metal ferroso	9,545.00	kg	metal working, average for metal product manufacturing
	DBO	0.77	kg	BOD5, Biological Oxygen Demand [water/surface water]
	Dióxido de carbono	79,094.61	kg	Carbon dioxide, fossil [air/urban air close to ground]
	Monóxido de carbono	11.16	kg	Carbon monoxide, non-fossil [air/urban air close to ground]
	Cromo III	1.38E-04	kg	Chromium [air/urban air close to ground]

MÓDULO	MATERIAL DE SALIDA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
Planchas calcográficas.	Cromo VI	5.00	kg	Chromium VI [air/urban air close to ground]
	Inorgánicos varios	555.67	kg	municipal solid waste
	Óxidos de nitrógeno	51.46	kg	Nitrogen oxides [air/urban air close to ground]
	Compuestos orgánicos volátiles	1,762.10	kg	NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin [air/unspecified]
	Grasas y aceites	0.71	kg	Oil, unspecified [water/unspecified]
	Partículas suspendidas totales	20.64	kg	Particulates, > 10 um [air/urban air close to ground]
	Lodos del proceso de producción	274.59	kg	sludge from pulp and paper production
	Sólidos suspendidos totales	0.90	kg	Suspended solids, unspecified [water/surface water]
	Residuos de agentes secantes para pinturas, lacas, barnices, masillas para resanar y productos derivados	19.53	kg	waste Paint, collection for hazardous waste incineration
	Cartón	2,520.27	kg	waste paperboard
	Plástico	917.54	kg	waste plastic, mixture
	Madera	8,118.30	kg	waste wood, untreated

Tabla 15. Materiales de entrada y salida del módulo de acondicionamiento de tintas

MÓDULO	MATERIAL DE ENTRADA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
Acondicionamiento de tintas	Barniz	280.00	kg	acrylic varnish, without wáter, in 87.5% solution state
	Cobalto	200.00	kg	cobalt
	Electricidad	706,489.56	kWh	electricity, high voltage
	Hidrocarburo	124.20	kg	light fuel oil
	Manganeso	180.00	kg	manganese
	Ceras	90.00	kg	polyethylene, low density, granulate
	Solventes orgánicos	1,632.00	kg	solvent organic
	Agente secante de tintas	220.00	kg	zirconium oxide
	MATERIAL DE SALIDA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
	Metal ferroso	19,090.89	kg	Metal working, average for metal product manufacturing
	Dióxido de carbono	14,618.92	kg	Carbon dioxide, fossil [air/urban air close to ground]
	Monóxido de carbono	2.23	kg	Carbon monoxide, non-fossil [air/urban air close to ground]

MÓDULO	MATERIAL DE SALIDA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
Acondicionamiento de tintas.	Cromo III	2.76E-05	kg	Chromium [air/urban air close to ground]
	Cromo VI	0.03	kg	Chromium VI [air/urban air close to ground]
	Residuos sólidos municipales	1772.51	kg	municipal solid waste
	Dióxidos de nitrógeno	10.29	kg	Nitrogen oxides [air/urban air close to ground]
	Compuestos orgánicos volátiles	352.42	kg	NMVOOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin [air/unspecified]
	Partículas suspendidas totales	4.13	kg	Particulates, > 10 um [air/urban air close to ground]
	Lodos del proceso de producción	134.86	kg	sludge from pulp and paper production
	Disolvente orgánicos usados	175.55	kg	Spent solvent mixture
	Residuos de agentes secantes para pinturas, lacas, barnices, masillas para resanar y productos derivados	9.75	kg	waste Paint, collection for hazardous waste incineration
	Papel	1872.62	kg	waste paper, unsorted
	Cartón	3168.55	kg	waste paperboard
	Plástico	1835.08	kg	waste plastic, mixture
	Madera	16236.59	kg	waste wood, untreated

Tabla 16. Materiales de entrada y salida del módulo de fabricación de rodillos

MÓDULO	MATERIAL DE ENTRADA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
Fabricación de rodillos	Dipropilenglicol éter	42.00	kg	Dipropylene glycol monomethyl ether
	Electricidad	706,489.56	kWh	Electricity, high voltaje
	Etanol	63.12	kg	Ethanol, without water, in 95% solution state, from fermentation
	Grafito	20.00	kg	graphite
	2-6 Di terc butil P cresol	35.00	kg	o-cresol
	Ftalato de dioctilo	800.00	kg	polyrthylene terephthalate, granulate, amorphous
	Policloruro de vinilo	1,900.00	kg	polyvinylchloride , bulk polymerised
	Trimetil propano	435.44	kg	propane
	MATERIAL DE SALIDA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
	Metal ferroso	28,636.34	kg	Metal working, average for metal product manufacturing
	Dióxido de carbono	14,618.92	kg	Carbon dioxide, fossil [air/urban air close to ground]
	Monóxido de carbono	2.23	kg	Carbon monoxide, non-fossil [air/urban air close to ground]
	Cromo III	2.76E-05	kg	Chromium [air/urban air close to ground]

MÓDULO	MATERIAL DE SALIDA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
Fabricación de rodillos	Cromo VI	0.03	kg	Chromium VI [air/urban air close to ground]
	Residuos sólidos municipales	1,667.01	kg	municipal solid waste
	óxidos de nitrógeno	10.29	kg	Nitrogen oxides [air/urban air close to ground]
	Compuestos orgánicos volátiles	352.42	kg	NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin [air/unspecified]
	Partículas suspendidas totales	4.13	kg	Particulates, > 10 um [air/urban air close to ground]
	Lodos del proceso de producción	134.86	kg	sludge from pulp and paper production
	Disolvente orgánicos usados	175.55	kg	Spent solvent mixture
	Residuos de agentes secantes para pinturas, lacas, barnices, masillas para resanar y productos derivados	9.75	kg	Waste paint, collection for hazardous waste incineration
	Cartón	7,561.62	kg	waste paperboard
	Plástico	2,752.62	kg	waste plastic, mixture
	Madera	24,354.88	kg	waste wood, untreated

Tabla 17. Materiales de entrada y salida del módulo de mantenimiento.

MÓDULO	MATERIAL DE ENTRADA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
Mantenimiento	Anticongelante	162.28	kg	Spent antifreezer liquid
	Acetileno	5.00	kg	Acetylene
	Ácido Acrílico	1.42	kg	Acrylic acid
	Baterías	6513.16	kg	Battery, nacl
	Bisfenol A/Epilclorohidrina	1.82	kg	Bisphenol A, poder
	Dióxido de carbono	255.00	kg	Carbón dioxide, liquid
	Estireno Divinil Benceno Sulfonado	535.50	kg	Cationic resin
	Diesel	3,827.20	kg	Diésel, low-sulfur
	Electricidad	706,489.56	kWh	Electricity high voltaje
	Etilen glicol	4.40	kg	Ethylene glycol
	Grasa	79.90	kg	Fatty glycol
	Aceites	1598.96	kg	heavy fuel oil
	Derivados del petróleo	164.78	kg	light fuel oil
	Lubricantes	44.90	kg	lubricating oil
	Nafta	28.39	kg	naphtha
	Oxígeno	6.00	kg	oxygen, liquid
	Poliestireno	509.39	kg	polystyrene, general purpose
	Propano/butano	8.77	kg	propane
	Detergentes	30.00	kg	soap
	Sal industrial de grano sin yodatar	2,569.60	kg	sodium chloride, poder
Hidróxido de sodio	690.00	kg	sodium hydroxide, without wáter, in 50% solution state	

MÓDULO	MATERIAL DE ENTRADA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
Mantenimiento	Metasilicato de sodio	364.00	kg	sodium metasilicate pentahydrate, 58% active substance, powder
	Nitrito de sodio	1,100.00	kg	sodium nitrite
	Bióxido de titanio	1.35	kg	titanium dioxide
	Agua	4,048.35	m3	Water, unspecified natural origin [natural resource/in water]
	MATERIAL DE SALIDA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
	Metal ferroso	9,545.45	kg	Metal working, average for metal product manufacturing
	DBO	0.57	kg	BOD5, Biological Oxygen Demand [water/surface water]
	Dióxido de Carbono	87,713.53	kg	Carbon dioxide, fossil [air/urban air close to ground]
	Monóxido de carbón	13.40	kg	Carbon monoxide, non-fossil [air/urban air close to ground]

MÓDULO	MATERIAL DE SALIDA	CANTIDAD	UNIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
Mantenimiento	Cromo III	1.65E-04	kg	Chromium [air/urban air close to ground]
	Cromo VI	0.18	kg	Chromium VI [air/urban air close to ground]
	Residuos sólidos municipales	555.67	kg	municipal solid waste
	Óxidos de nitrógeno	61.75	kg	Nitrogen oxides [air/urban air close to ground]
	Grasas y aceites	0.53	kg	Oil, unspecified [water/unspecified]
	Partículas suspendidas totales	24.77	kg	Particulates, >10 um [air/urban air close to ground]
	Lodos del proceso de producción	58.30	kg	sludge from pulp and paper production
	Disolventes orgánicos usados	7.78	kg	Spent solvent mixture
	Sólidos suspendidos totales al agua	0.68	kg	Suspended solids, unspecified [water/Surface water]
	Compuestos orgánicos volátiles	2,114.52	kg	VOC, volatile organic compounds, unspecified origin [water/unspecified]
	Residuos de agentes secantes para pinturas, lacas, barnices, masillas para resanar y productos derivados	3.94	kg	waste Paint, collection for hazardous waste incineration
	Papel	2520.58	kg	waste paper, sorted
	Plástico	917.54	kg	waste plastic, mixture
	Hidróxido de sodio	690	kg	sodium hydroxide, without water, in 50%, solution state
	Madera	8,118.29	kg	waste wood, untreated

Tabla 18. Materiales de entrada y salida para el módulo de servicios auxiliares y de administración

MÓDULO	MATERIAL DE ENTRADA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
Servicios auxiliares y de administración	Oficinas y laboratorios			
	Ácido acético	1.04	kg	acetic acid, without wáter, in 98% solution state
	Carbonato de calcio	3.75	kg	
	Cloroformo	5.93	kg	
	Tetracloroetileno	8.09	kg	
	2-propanona	4.73	kg	acetone liquid
	Resinas acrílicas	136.04	kg	acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state
	Cloro	720.00	kg	chlorine, liquid
	Electricidad	3,532,447	kWh	electricity, high voltage
	Etanol	18.14	kg	ethanol, without water, in 95% solution state, from fermentation
	Acetato de etilo	3.61	kg	ethyl acetate
	Aceites	6.44	kg	heavy fuel oil
	Desincrustante	136.00	kg	hydrochloric acid, without water, in 30% solution state
	Nafta	30.88	kg	naphtha
	Fertilizantes	2,800.00	kg	nitrogen fertiliser, as N
	Rojo fenol	1.96	kg	phenol
	Ácido fosfórico	1028	kg	phosphoric acid, fertilizer grade, without water, in 70% solution state
	Poliuretano alifático	8.00	kg	polyurethane, flexible foam
	Papel bond de oficina	32,475.00	kg	printed paper
Detergentes y jabones	5096	kg	soap	
Hidróxido de sodio	1380	kg	sodium hydroxide, without water, in 50%, solution state	

MÓDULO	MATERIAL DE ENTRADA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT	
Servicios auxiliares y de administración	Hipoclorito de sodio	834.92	kg	Sodium hypochlorite, without water, in 15% solution state	
	Sulfato de sodio	236	kg	Sodium sulfate, anhydrite	
	Tinner	76.24	kg	Solvent, organic	
	Bióxido de titanio	339.93	kg	Titanium, dioxide	
	Agua	5397.00	kg	Water, unspecified natural origin [natural resource in water]	
	xileno	0.86	kg	Xylene	
	Documentos fiduciarios				
	Acetona	0.2	kg	acetone, liquid	
	Etanol	0.2	kg	Ethanol, without wáter, in 95% solution state, from fermentation	
	Nitrógeno	5.04	kg	Nitrogen	
	Oxígeno	0.4	kg	Oxygen liquid	
	Stand de tiro				
	Latón	450	kg	brass	

MÓDULO	MATERIAL DE ENTRADA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
Servicios auxiliares de y administración	Análisis de indicios			
	Acetona	0.20	kg	acetone, liquid
	Etanol	0.20	kg	Ethanol, without wáter, in 95% solution state, from fermentation
	Nitrógeno	5.04	kg	Nitrogen, liquid
	Oxígeno	0.40	kg	Oxigen, liquid
	Comedor			
	Alfalfa	2,973.97	kg	Alfalfa-grass mixture, Swiss integrated production
	Manzana	6,893.04	kg	Apple
	Aguacate	5,973.91	kg	Avocado
	Plátano	6,893.04	kg	Banana
	Mantequilla	3,644.37	kg	Butter, from cow milk
	Repollo	5,973.97	kg	Cabbage White
	Zanahoria	5,973.97	kg	Carrot
	Coliflor	5,973.97	kg	Cauliflower
	Queso	3,644.37	kg	Cheese, from cow mil, fresh, unripened
	Pollo	14,362.27	kg	chicken for slaughtering, live weight
	Cítricos	6,893.04	kg	Citrus
	Coco	6,893.04	kg	Coconut, husked
	Leche	3,644.37	kg	Cow milk
	Crema	3,644.37	kg	Cream, from cow milk
Pepino	5,973.97	kg	Cucumber	

MÓDULO	MATERIAL DE ENTRADA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
	Uva	6,400.00	kg	Grape
	Espárrago	6,893.97	kg	Green asparagus
	Pimiento morron	5,973.97	kg	Green bell pepper
	Huevos	14,362.27	kg	Material creado en ecoinvent
	Kiwi	6,893.04	kg	Kiwi
	Maíz	7,215.77	kg	Maize grain
	Melón	6,893.04	kg	Melon
	Gas natural	8,394.37	m ³	Natural gas, unprocessed, at extration
	Cebolla	5,973.97	kg	Onion
	Papaya	6,893.04	kg	Papaya
	Pera	6,893.04	kg	Pear
	Pescados y mariscos	9,802.66	kg	Material creado en el software
	Piña	6,893.04	kg	Pineapple
	Papa	11,947.94	kg	Potato
	Rábano	5,973.97	kg	Radish
	Carne de res	22,260.67	kg	Red meat, live weight
	Arroz	18,485.89	kg	Rice
	Sal	18,485.86	kg	Salt
	Espinaca	5,973.97	kg	Spinach
	Fresa	6,893.04	kg	Strawberry
	Azúcar	18,485.96	kg	Sugar, from sugarcane
	Tomate	5,973.97	kg	Tomato
	Transporte terrestre de alimentos	238,748	ton*km	Transport freight Lorry 16-32 Ton

MÓDULO	MATERIAL DE ENTRADA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT	
Servicio Auxiliares y de Administración.	Espárrago blanco	7,215.77	kg	White asparagus	
	Grano de trigo	5,600.59	kg		
	Yogurt	3,644.37	kg	Yogurt, from cow milk	
	Calabacín	5,973.97	kg	Zucchini	
	Embalaje				
	Contenedor vacío	82,009.75	kg	Material creado en el software	
	Empaques	54,958.52	kg	Material creado en el software	
	MATERIAL DE SALIDA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT	
	Oficinas y laboratorios				
	Metal ferroso	28,636.34	kg	Metal working, average for metal product manufacturing	
	DBO	0.96	kg	BOD5, Biological Oxygen Demand [water/surface water]	
	Dióxido de Carbono	73,094.61	kg	Carbon dioxide, fossil [air/urban air close to ground]	
	Monóxido de carbono	11.17	kg	Carbon monoxide, non-fossil [air/urban air close to ground]	
	Cromo III	1.38E.04	kg	Chromium [air/urban air close to ground]	
	Cromo VI	0.15	kg	Chromium VI [air/urban air close to ground]	

MÓDULO	MATERIAL DE SALIDA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
Servicios auxiliares y de administración.	Oficinas y laboratorios			
	Lodos de digestión	4,106.25	kg	Digester sludge
	Residuos sólidos municipales	52,475.01	kg	municipal solid waste
	Óxidos de nitrógeno	51.46	kg	Nitrogen oxides [air/urban air close to ground]
	Grasas y aceites	0.89	kg	Oil, unspecified [water/unspecified]
	Partículas suspendidas totales	20.64	kg	Particulates, >10 um [air/urban air close to ground]
	Sólidos suspendidos totales al agua	1.13	kg	Suspended solids, unspecified [wáter/Surface wáter]
	Compuestos orgánicos volátiles	1762.10	kg	VOC, volatile organic compounds, unspecified origin [water/unspecified]
	Residuos de la construcción y demolición	254,040	kg	Waste cement in concrete and mortar
	Residuos de agentes secantes para pinturas, lacas, barnices, masillas para resanar y productos derivados	198.50	kg	Waste paint, collection for hazardous waste incineration
	Papel	7561.76	kg	waste paperboard
	Plástico	2752.62	kg	waste plastic, mixture
	Madera	24,354.89	kg	waste wood, untreated

MÓDULO	MATERIAL DE SALIDA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
Servicio Auxiliares y de Administración.	Oficina Almacén			
	Residuos sólidos municipales	555.66	kg	municipal solid waste
	Papel	2,520.58	kg	waste paperboard
	Plástico	917.53	kg	waste plastic, mixture
	Madera	8,118.29	kg	waste wood, untreated
	Metal ferroso	9,545.27	kg	Metal working, average for metal product manufacturing
	Comedor			
	Residuos sólidos municipales	128,348.60	kg	municipal solid waste
	Control de calidad			
	Residuo de merma	58,859.51	kg	Material creado en el software

Tabla 19. Materiales de entrada y salida del módulo de procesamiento de billete

MÓDULO	MATERIAL DE ENTRADA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
Proceso de billete.	Electricidad	735,725.2	kWh	Electricity high voltage
	Isopropanol	1,353,717	kg	Material creado en el software
	MATERIAL DE SALIDA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
	Metal ferroso	28,636.34	kg	Metal working, average for metal product manufacturing
	Residuos sólidos municipales	1,667.00	kg	municipal solid waste
	Papel	7,561.76	kg	waste paperboard
	Plástico	2,752.62	kg	waste plastic, mixture
	Madera	24,354.89	kg	waste wood, untreated

4.3. Actividades indirectas (corriente abajo)

Para estas actividades se tuvieron en cuenta los materiales utilizados en la distribución de billetes, el transporte de los residuos peligrosos a relleno sanitario y la disposición final de residuos de billete.

Tabla 20. Materiales de entrada de distribución.

MÓDULO	MATERIAL DE ENTRADA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
Distribución.	Distribución Aérea			
	Billete + embalaje	1,400,000	kg	Material creado en el software
	Transporte aéreo	6,492,129	tkm	Transport freight, aircraft
	Distribución terrestre			
	Billete + embalaje	1,400,000	kg	Material creado en el software
Transporte terrestre	11,424,82	tkm	Transport freight lorry 16-32 metric ton, EURO5	

Tabla 21. Materiales de entrada y salida de disposición final

MÓDULO	MATERIAL DE ENTRADA	CANTIDAD	UNIDAD/AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN ECOINVENT
Disposición final.	Disposición final de billete			
	Maculatura de billete algodón	909,929.76	kg	Waste paper, unsorted
	Maculatura billete de polímero	273,270.24	kg	Waste polypropylene
	Empaque a relleno sanitario			
	Empaque	54,958.52	kg	Waste polyethylene
	Disposición de merma a relleno sanitario			
	Maculatura de billete algodón	45,196.49	kg	Waste paper, unsorted
	Maculatura billete de polímero	13,663.51	kg	Waste polypropylene

Capítulo 5.

5. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE CICLO DE VIDA ORGANIZACIONAL.

Discusión de impactos por etapas de O-LCA.

En este capítulo se analizan y discuten los impactos resultantes por categorías de impacto así como las contribuciones porcentuales de cada uno de los módulos que conforman la organización.

La Figura 14 muestra que los mayores impactos ambientales suceden en las actividades indirectas (color verde y mostaza). Es decir, gran parte de la contaminación generada por las actividades del Complejo Legaría de Banco de México se encuentran ligadas a su cadena de suministro.

El significado de las abreviaturas de la Figura 14 se muestra a continuación:

Sigla	Significado
OA	Ocupación de suelo agrícola
CC	Cambio Climático
AF	Agotamiento de combustibles fósiles
EAD	Eutrofización de agua dulce
TH	Toxicidad humana
AM	Agotamiento de recursos minerales
RO	Reducción de la capa de ozono
FOF	Formación de oxidantes fotoquímicos
AT	Acidificación terrestre
ET	Eco toxicidad terrestre
AA	Agotamiento de agua

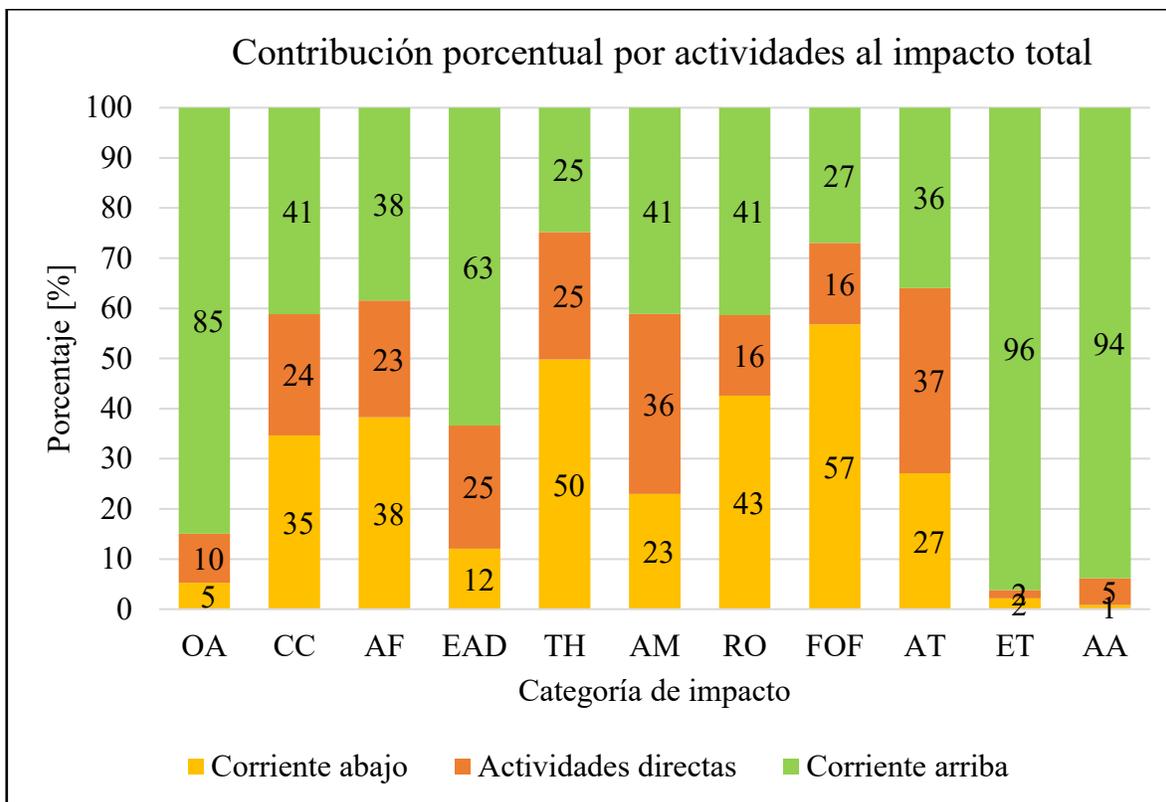


Figura 14. Impactos ambientales por actividades del Complejo Legaria.

A continuación se explica de manera detallada los impactos por actividad.

Para las actividades corriente abajo, las tres categorías de mayor impacto fueron:

- Toxicidad humana (50%).
- Formación de oxidantes fotoquímicos (57%).
- Reducción de la capa de ozono (43%).

Para las actividades directas, la categoría de mayor impacto es:

- Acidificación terrestre (37%).

Las actividades indirectas corriente arriba generaron los mayores impactos en 7 de las 11 categorías analizadas, estas fueron:

- Ocupación agrícola (85%).

- Cambio climático (41%).
- Agotamiento de combustibles fósiles (38%).
- Eutrofización de agua dulce (63%).
- Agotamiento de recursos minerales (41%).
- Eco-toxicidad terrestre (96%).
- Agotamiento de agua (94%).

La Tabla 22 resume los impactos porcentuales obtenidos por actividades directas e indirectas.

Tabla 22. Impactos porcentuales obtenidos por actividades directas e indirectas.

Actividad	Categoría de impacto											Porcentaje [%]
	OA	CC	AF	EAD	TH	AM	RO	FOF	AT	ET	AA	
Actividades directas	10	24	23	25	25	36	16	16	37	2	5	100
Corriente abajo	5	35	38	12	50	23	43	57	27	2	1	
Corriente arriba	85	41	38	63	25	41	41	27	36	96	94	
Totales	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

>30%	20-30%	10-20%	<10%
------	--------	--------	------

Del total de los impactos normalizados generados por todas las actividades directas e indirectas, el 53% correspondió a las actividades corriente arriba, el 27% a actividades corriente abajo y el 20% a las actividades directas. Estos resultados están respaldados con el estudio realizado por Makower, (2014) en el reporte denominado “State of Green Business” donde se concluyó que el 20% de los impactos ambientales de 15 sectores analizados, eran originados en las actividades directas, mientras que el 80% restante, se originaba en las actividades indirectas relacionadas con las materias primas, el tratamiento y disposición final de residuos. En la Tabla 23 se explica a modo de detalle los impactos ambientales de las actividades directas e indirectas por categoría ambiental.

Tabla 23. Impactos ambientales de actividades directas e indirectas por categoría ambiental.

	Unidades	Actividades			Totales
		Corriente abajo	Directas	Corriente arriba	
OA	m ² a	487,362.81	817,780.05	7,827,480.75	9,132,623.61
CC	kg CO ₂ eq	12,591,827.44	8,285,660.07	14,950,679.51	35,828,167.02
AF	kg petroleo crudo eq	4,214,981.93	2,401,702.07	4,238,534.04	10,855,218.04
EAD	kg de PO ₄ eq	189.73	370.17	994.91	1,554.82
TH	kg 1,4 DCB eq	1,919,208.29	950,181.50	954,562.50	3,823,952.29
AM	kg fe eq	216,227.96	332,144.38	386,895.46	935,267.79
RO	kg CFC-11 eq	2.18	0.77	2.12	5.06
FOF	kg COVNM eq	102,016.69	28,045.28	48,455.71	178,517.68
AT	kg SO ₂ eq	46,045.77	59,081.63	61,037.15	166,164.55
ET	kg 1,4 DCB eq	3,769.05	2,781.48	166,663.77	173,214.30
AA	m ³	14,926.79	93,805.97	1,727,065.77	1,835,798.53

Impactos detallados por actividades directas e indirectas

Para conocer de manera más detallada, qué etapas y módulos de las actividades directas e indirectas se encuentran generando los mayores impactos ambientales, se analizó de manera detallada las aportaciones porcentuales por categoría mostrados en la Figura 15.

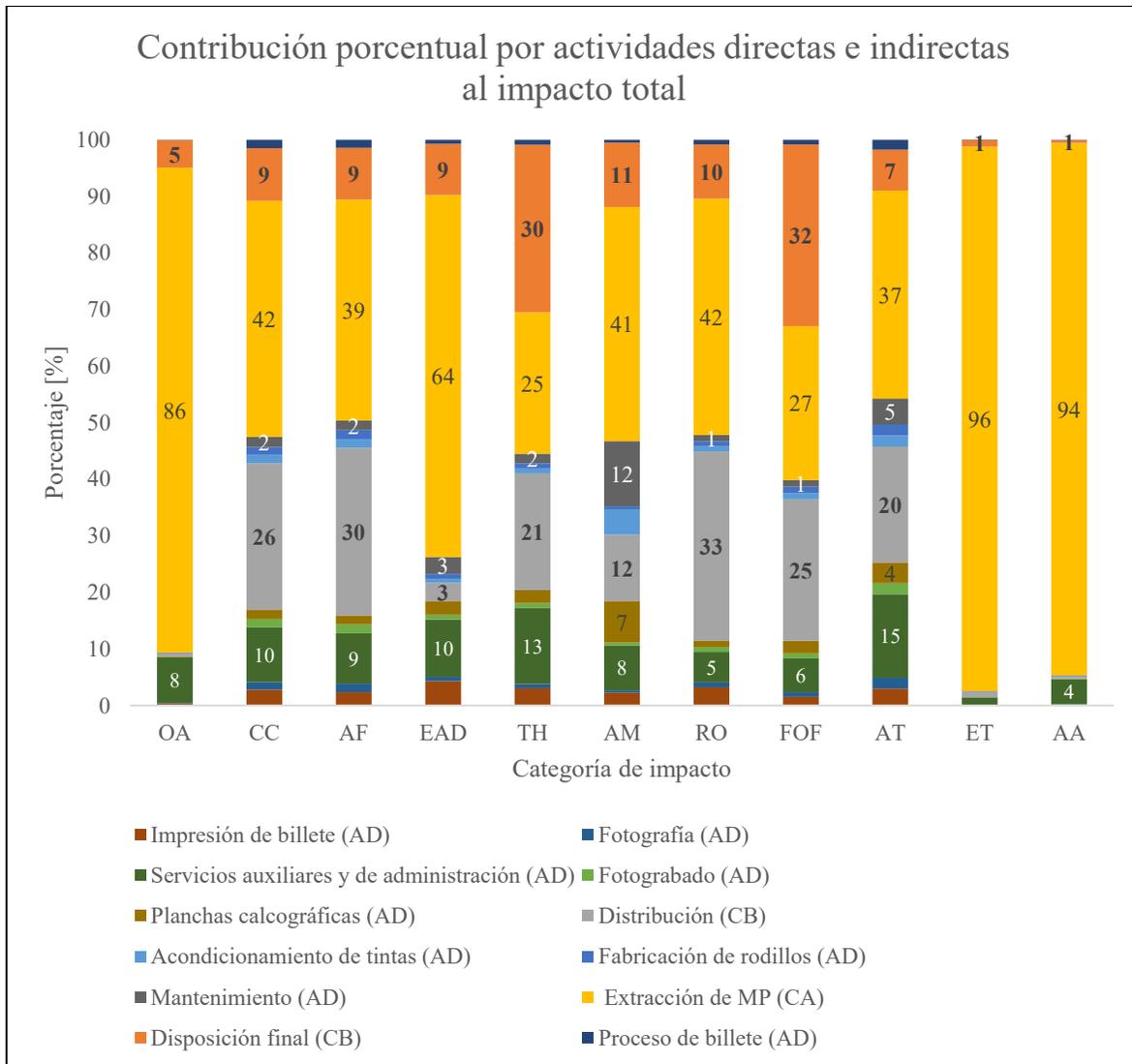


Figura 15. Impactos ambientales detallados por actividades directas e indirectas.
 *AD: actividades directas; CA: corriente arriba; CB: corriente abajo.

Los resultados obtenidos en la Figura 15 mostraron que en las actividades corriente arriba (CA) y corriente abajo (CB), el proceso de extracción de materias primas y el módulo de disposición final generaron los mayores impactos ambientales en todo el ciclo de vida organizacional. La fase de extracción de materias primas que hacen parte de las actividades indirectas corriente arriba (CA) fue la de mayor aportación porcentual en 10 de las 11 categorías evaluadas, así mismo la disposición final que pertenece a las actividades corriente abajo (CB) impactó en solo en 1 categoría. En la Tabla 24 se presentan los porcentajes por procesos y módulos que pertenecen a las actividades directas e indirectas de la organización.

Tabla 24. Impactos ambientales por actividades directas e indirectas por categoría ambiental.

		Categoría de impacto										Concentración [%]	
		OA	CC	AF	EAD	TH	AM	RO	FOF	AT	ET		AA
Módulo	Acondicionamiento de tintas (AD)	0.1	1.4	1.6	0.8	0.9	4.5	0.9	1.1	2.0	0.0	0.1	
	Disposición final (CB)	4.8	9.3	9.2	9.0	29.6	11.4	9.6	32.2	7.3	1.2	0.5	
	Distribución (CB)	0.5	25.9	29.6	3.2	20.6	11.7	33.5	25.0	20.5	1.0	0.3	
	Extracción de MP (CA)	85.7	41.7	39.0	64.0	25.0	41.4	41.8	27.1	36.7	96.2	94.1	
	Fabricación de rodillos (AD)	0.1	1.4	1.6	0.8	0.9	0.5	0.9	1.1	1.9	0.0	0.1	
	Fotograbado (AD)	0.1	1.5	1.6	0.8	0.8	0.5	0.9	0.9	2.0	0.0	0.1	
	Fotografía (AD)	0.1	1.4	1.5	0.8	0.8	0.5	0.9	0.8	1.9	0.0	0.1	
	Impresión de billete (AD)	0.4	2.8	2.3	4.3	3.0	2.2	3.2	1.5	3.0	0.1	0.2	
	Mantenimiento (AD)	0.1	1.8	1.7	3.0	1.7	11.5	1.1	1.2	4.6	0.0	0.1	
	Planchas calcográficas (AD)	0.1	1.7	1.6	2.5	2.4	7.4	1.0	2.2	3.6	0.0	0.1	
	Proceso de billete (AD)	0.1	1.5	1.4	0.7	0.9	0.5	0.8	0.8	1.8	0.0	0.1	
	Servicios auxiliares y de administración (AD)	8.1	9.6	8.9	10.2	13.4	7.9	5.4	6.0	14.8	1.3	4.4	
	Total general	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

>30%	20-30%	10-20%	<10%
------	--------	--------	------

Por otro lado, se realizó un análisis detallado en los módulos de las actividades corriente arriba y corriente abajo y sobre los cuales Complejo Legaria puede ejercer poder de decisión. En la Figura 16 se presentan los resultados del análisis por módulos y actividades,

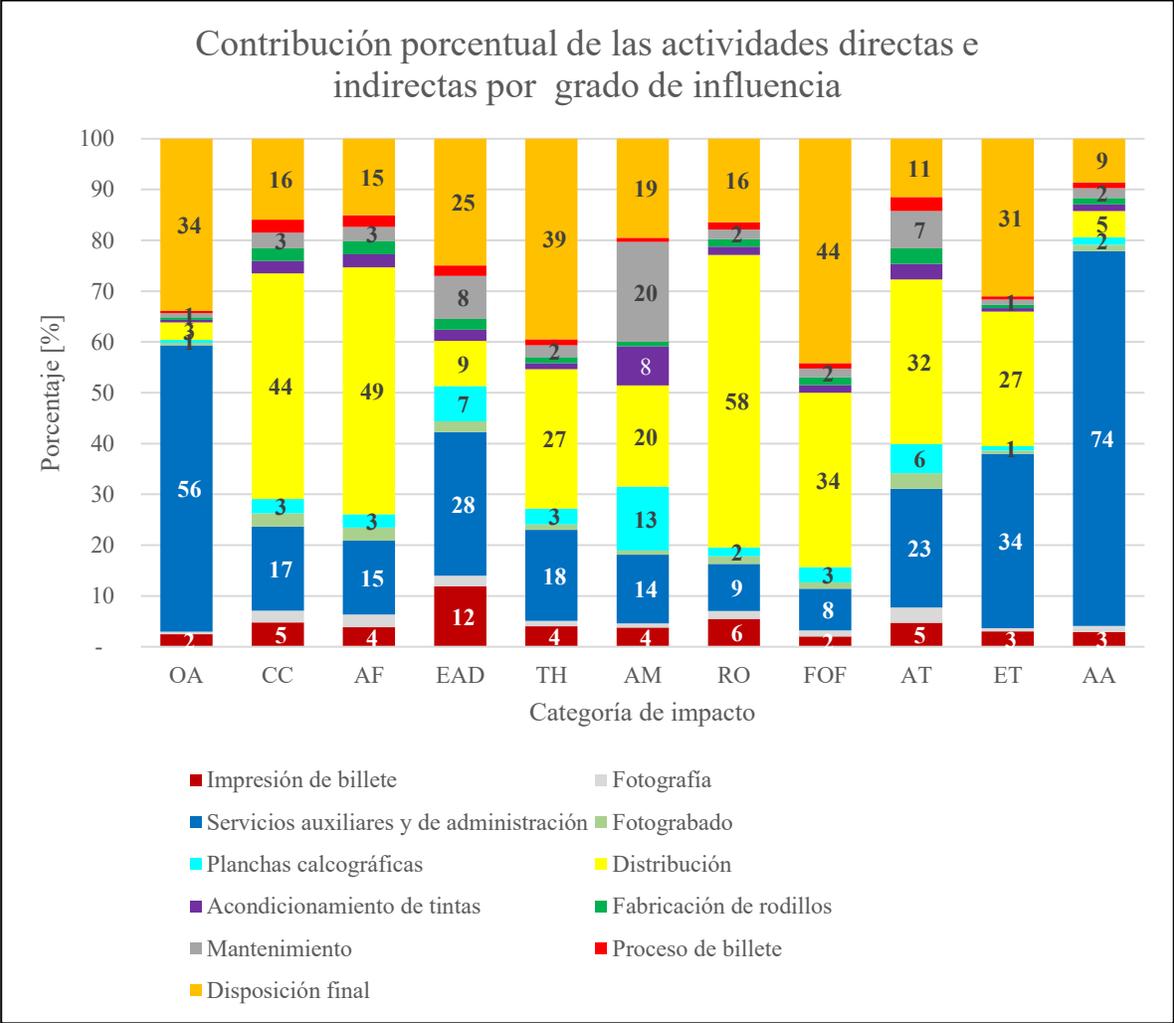


Figura 16. Impactos ambientales por áreas del Complejo Legaria.

Los resultados obtenidos en la Figura 16 reflejaron que los módulos de mayores impactos ambientales fueron el de servicios auxiliares y de administración, y las actividades de distribución y disposición final. Para el módulo de servicios auxiliares y de administración las categorías que mayores impactos generaron fueron:

- Ocupación agrícola (56%).
- Ecotoxicidad terrestre (34%).
- Agotamiento de agua (74%).

En cuanto a la distribución, las categorías que más impactaron fueron:

- Cambio climático (44%).
- Agotamiento de combustibles fósiles (49%).
- Agotamiento de minerales (20%).
- Reducción de la capa de ozono (58%).
- Acidificación terrestre (32%).

La disposición final obtuvo los mayores impactos ambientales en:

- Eutrofización de agua dulce (25%).
- Toxicidad humana (39%).
- Formación de oxidantes fotoquímicos (44%).

La Tabla 25 resume de manera general los impactos obtenidos en las diferentes categorías para los módulos anteriormente mencionados.

Tabla 25. Resultados por etapas y módulos sobre los cuales la organización tiene influencia y control.

		Categorías de impacto										Porcentaje [%]	
		OA	CC	AF	EAD	TH	AM	RO	FOF	AT	ET		AA
Módulos	Acondicionamiento de tintas (AD)	0	2	3	2	1	8	2	2	3	1	1	
	Disposición final (CB)	34	16	15	25	39	19	16	44	11	31	9	
	Distribución (CB)	3	44	49	9	27	20	58	34	32	27	5	
	Fabricación de rodillos (AD)	0	2	3	2	1	1	2	2	3	1	1	
	Fotograbado (AD)	0	3	3	2	1	1	2	1	3	1	1	
	Fotografía (AD)	0	2	3	2	1	1	2	1	3	1	1	
	Impresión de billete (AD)	2	5	4	12	4	4	6	2	5	3	3	
	Mantenimiento (AD)	1	3	3	8	2	20	2	2	7	1	2	
	Planchas calcográficas (AD)	1	3	3	7	3	13	2	3	6	1	2	
	Proceso de billete (AD)	0	3	2	2	1	1	1	1	3	1	1	
	Servicios auxiliares y de administración (AD)	56	17	15	28	18	14	9	8	23	34	74	
	Total general	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	



A continuación se describe de manera más detallada los impactos por categoría y se exponen los procesos y materiales que se encuentran generando las mayores cargas ambientales.

5.1. Ocupación agrícola

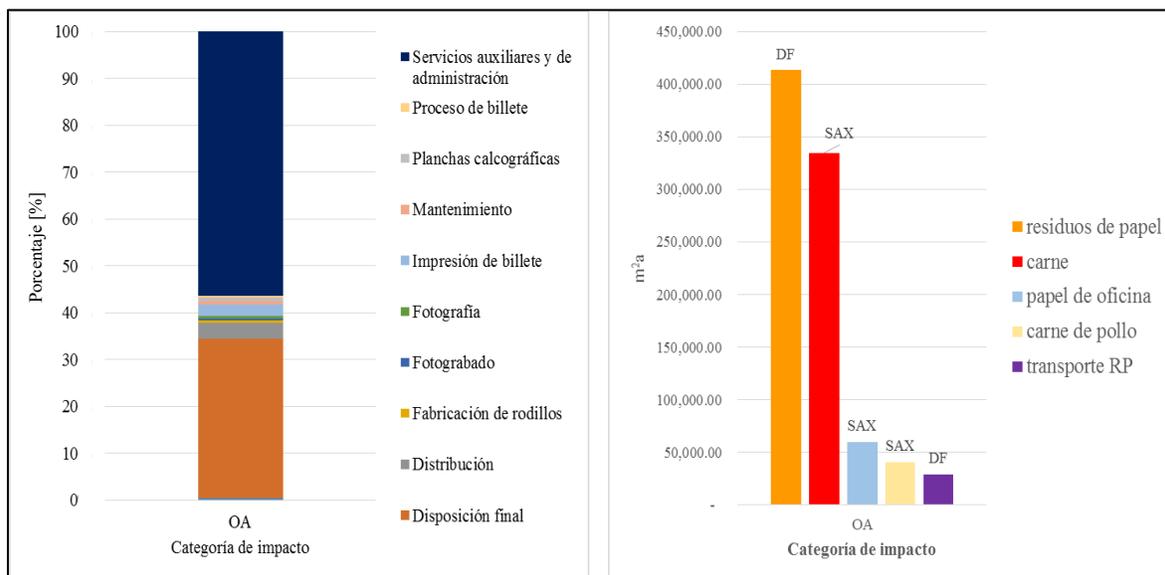


Figura 17. Resultados de impacto ambiental para la categoría de ocupación agrícola
 *DF: disposición final; SAX: servicios auxiliares y de administración

Para esta categoría, el resultado del impacto total por ocupación de suelo agrícola fue de 9,132,623.61 m²a de los cuales el 56.41% correspondió al módulo de servicios auxiliares y de administración, el 33.90% a la disposición final, el 3.44% a la distribución y el 2.48% a la impresión de billete.

Del análisis de los impactos por materiales se obtuvo que para el módulo de servicios auxiliares y de administración, del impacto total (736,201.38 m²a), el 45.47% está asociado al consumo de carne de res, el 8.12% al uso de papel de oficina y el 5.51% al consumo de carne de pollo.

Por otra parte el impacto por disposición final (442,463.33 m²a), el 93.36% correspondió a los residuos de papel, y el 6.50% al transporte de los residuos a disposición final.

Los resultados obtenidos por consumo de carne para el módulo de servicios auxiliares y de administración coinciden con los estudios realizados por Eberle and Fels (2015); Gustavsson et al., (2011) and Smetana et al., (2015); quienes establecieron que los mayores impactos ambientales por uso de suelo en ciudades y empresas correspondían al consumo de productos animales como la carne. Así mismo los resultados por disposición final concuerdan con lo obtenido por Lujan (2015), quien obtuvo impactos significativos en relleno sanitario para la disposición final de billete de algodón.

5.2. Cambio climático

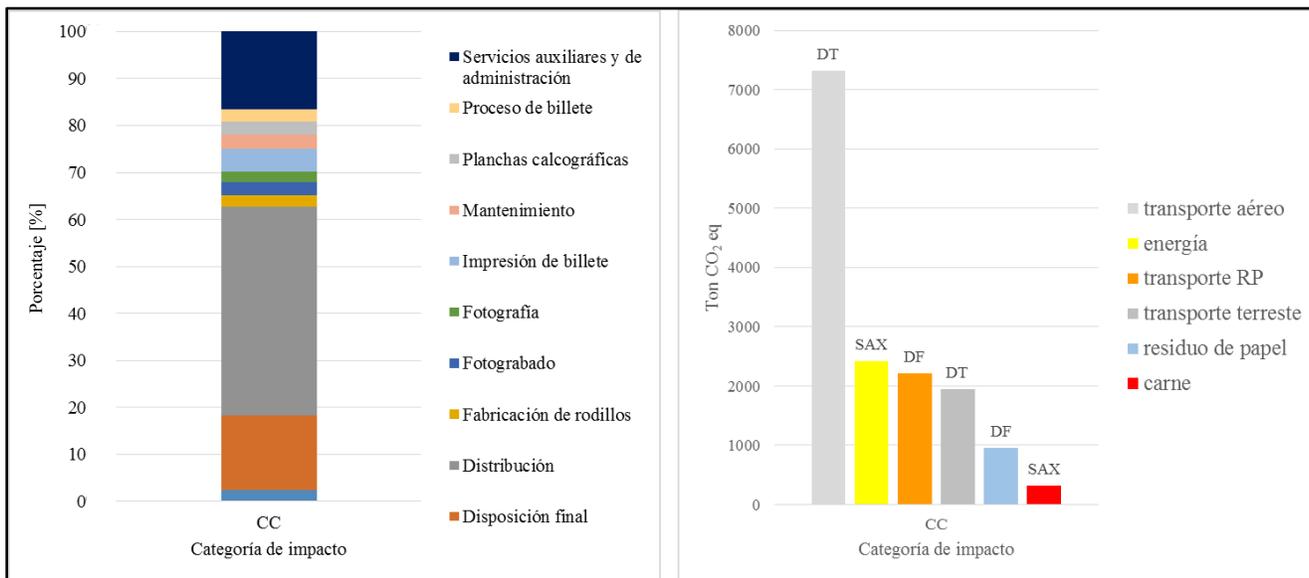


Figura 18. Resultados de impacto ambiental para la categoría de cambio climático

*DT: distribución; SAX: servicios auxiliares y de administración; DF: disposición final.

Para esta categoría, el resultado del impacto total por cambio climático fue de 20,877 ton de CO₂ equivalentes de los cuales el 44.40% correspondieron a la distribución de los billetes (9,270.28 ton de CO₂ equivalentes), 16.51% a servicios auxiliares y de administración (3,447.74 ton de CO₂ equivalentes) y 15.91% a disposición final (3,321.54 ton de CO₂ equivalentes).

Del análisis de los impactos por materiales se obtuvo que para la distribución, el transporte aéreo de billetes generó el 78.98% del impacto (7,321.42 ton de CO₂ equivalentes) y el transporte terrestre ocasionó el 21.02% (1,948.86 ton de CO₂ equivalentes). Para el módulo de servicios auxiliares y de administración la electricidad causó el 70.39% del impacto (2,426.72 ton de CO₂ equivalentes), seguido por el consumo de la carne con el 9.11% (316 ton de CO₂ equivalentes). Por otra parte, la actividad de disposición final, el transporte de los residuos de billete y residuos peligrosos generados por el Banco causaron el 66.46% del impacto (2,207.38 ton de CO₂ equivalentes), seguido de los residuos de papel de billete con 27.19% (903.01 ton de CO₂ equivalentes) y residuo de polímero con el 3.10%. (103.01 ton de CO₂ equivalentes).

Todos los impactos anteriormente obtenidos son producto de las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del consumo de combustibles fósiles, de la descomposición de los residuos en relleno sanitario, del consumo de carne en el comedor y de la energía adquirida por el Banco.

Uno de los aspectos importantes a mencionar es la contribución porcentual del metano proveniente del sector de la ganadería, el dióxido de carbono y óxido nitroso (CO₂ y N₂O) generado por los combustibles fósiles usados en la generación de electricidad y como combustibles en la preparación de terrenos para ganado.

Por otro lado, del total de las emisiones directas del Complejo Legaria (8,285,660.07 kg CO₂ eq), el 62% corresponden a emisiones indirectas de alcance 2 por consumo de energía (5,362,684 kg CO₂ eq), específicamente generación de electricidad de origen externo y que es utilizado por la organización.

La cantidad de CO₂ eq obtenidos en el Complejo Legaria, correspondiente a 8,285 ton de CO₂ eq; las cuales contrastan con las 1,577 ton de CO₂ eq generadas anualmente por el Instituto de Ingeniería de la UNAM (Güereca et al., 2013) y con las 2,366,468 ton CO₂ eq emitidas por una planta de fabricación de cemento en México (Güereca et al., 2015). Dichas diferencias se deben por una parte a que el Instituto de Ingeniería es un centro de investigación donde las emisiones directas por consumo de combustibles son mínimas (no incluye chimeneas al no ser una industria), mientras que la planta de cemento presenta altos valores de emisión por la naturaleza de sus procesos industriales los cuales incluyen la quema de combustibles para alcanzar hasta 2000 grados C de temperatura en el horno además de procesos de descarbonatación (que emiten CO₂). Es importante mencionar que los estudios anteriormente comparados presentan diferencias metodológicas por lo cual la discusión es cualitativa.

Es preciso resaltar que estudios hechos por Bancos centrales alrededor del mundo (Banco central de Chile, Francia, Colombia y de Irlanda), realizan las estimaciones de kg de CO₂ eq para el conjunto de sucursales y sedes de la organización, es decir, edificios administrativos, culturales, y fábricas de billetes (Tabla 26).

Tabla 26. Comparación de las emisiones de CO₂ eq para diferentes Bancos Centrales.

	Banco de México (2013)	Banco de la República (Colombia 2012)	Banco de Chile (2013)	Banco de Francia (2013)	Banco de Irlanda (2013)
Consumo de electricidad anual	9,213 MWh/	40,400 MWh	35,036 MWh	N/D	9,518 MWh
Factor de emisión	*0.58204 kg CO ₂ eq/kWh	**0.2717 kg CO ₂ eq/kWh	*0.55351 kg CO ₂ /kWh	*0.097511 kg CO ₂ eq/kWh	*0.6744 kg CO ₂ eq/kWh
kg de CO ₂ eq por uso de electricidad anual	5,362.68 ton CO ₂ eq	10,976.78 ton CO ₂ eq	18,747.76 ton CO ₂ eq	1,148 ton CO ₂ eq	6,148.93 ton CO ₂ eq

*Factor de emisión obtenido en la base de datos de Ecoinvent v3.1 Recipe Midpoint w/o LT.

** Factor de emisión obtenido en el Ministerio de minas y energía de Colombia.

Las comparaciones con otros bancos centrales presentada en la Tabla 26, donde se incluye Colombia, Chile, Francia e Irlanda (Banco de Chile, 2014; Bank of Ireland, 2014; Banque de France, 2014), corresponden al consumo de energía y huella de carbono por uso de electricidad en los bancos centrales donde se observa que México es el país con menor uso de electricidad de la muestra analizada, sin embargo, Francia tiene las menores emisiones de CO₂ eq. Lo anterior se debe a que dichas emisiones se calcularon a partir de los factores de emisión de CO₂ por kWh generado en cada país. Francia tiene las menores emisiones debido a que utiliza principalmente energía nuclear (que no genera emisiones de CO₂ eq) en vez de combustibles fósiles.

5.3. Agotamiento de combustibles fósiles

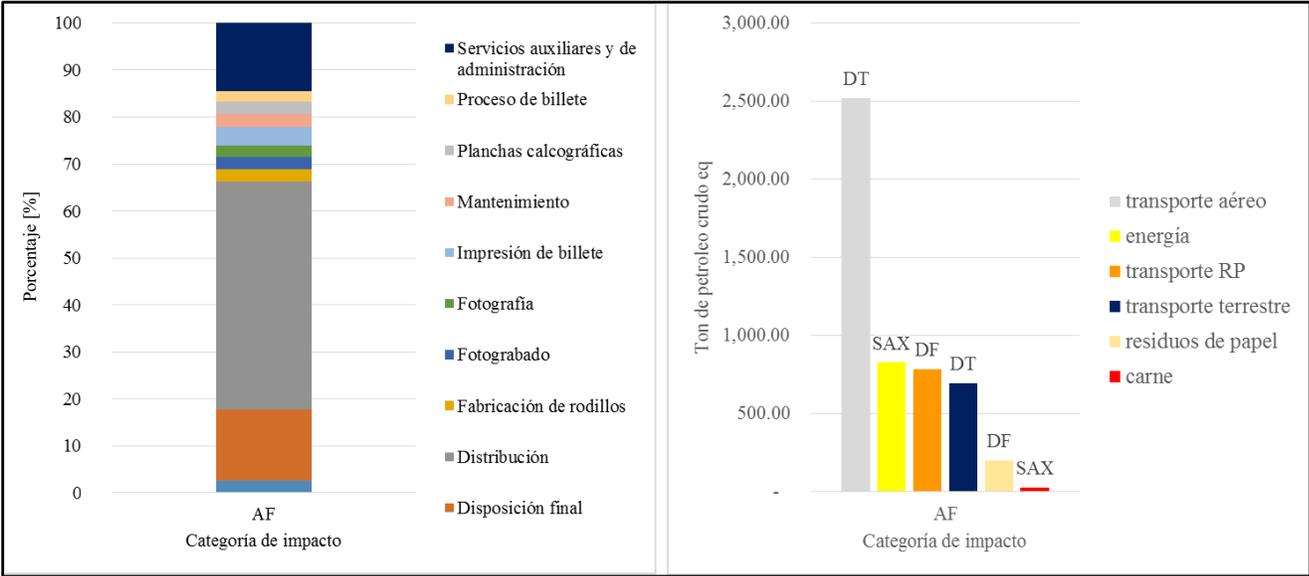


Figura 19. Resultados de impacto ambiental para la categoría de agotamiento de combustibles fósiles.

DT: distribución; SAX: servicios auxiliares y de administración; DF: disposición final.

Los resultados obtenidos en la Figura 19 muestran que la actividad de distribución es la de mayor impacto con el 48.60% (3,128.28 ton de petróleo crudo eq), le sigue la disposición final con el 15.05% (996.69 ton de petróleo crudo eq) y el módulo de servicios auxiliares y de administración con el 14.59% (965.80 ton de petróleo crudo eq).

Los procesos que más contribuyeron a los impactos ambientales en la actividad de distribución fueron el transporte aéreo de billete con el 78.40% (2,523 ton de petróleo crudo equivalente) y el transporte terrestre con el 21.60% (695 ton de petróleo crudo equivalente). Por otro lado el transporte terrestre de los residuos a relleno generaron el 79.01% (787.46 ton de petróleo crudo equivalente) y los residuos de papel el 20.36% (202.88 ton de petróleo

crudo equivalente) en la actividad de disposición final. En el módulo de servicios auxiliares y de administración el uso de energía eléctrica generó el 86.16% del impacto (828.11 ton de petróleo crudo equivalente), seguido de la carne de res con el 2.91% (28.06 ton de petróleo crudo equivalente) y el papel de oficina con el 1.74% (16.83 ton de petróleo crudo equivalente).

5.4. Eutrofización de agua dulce

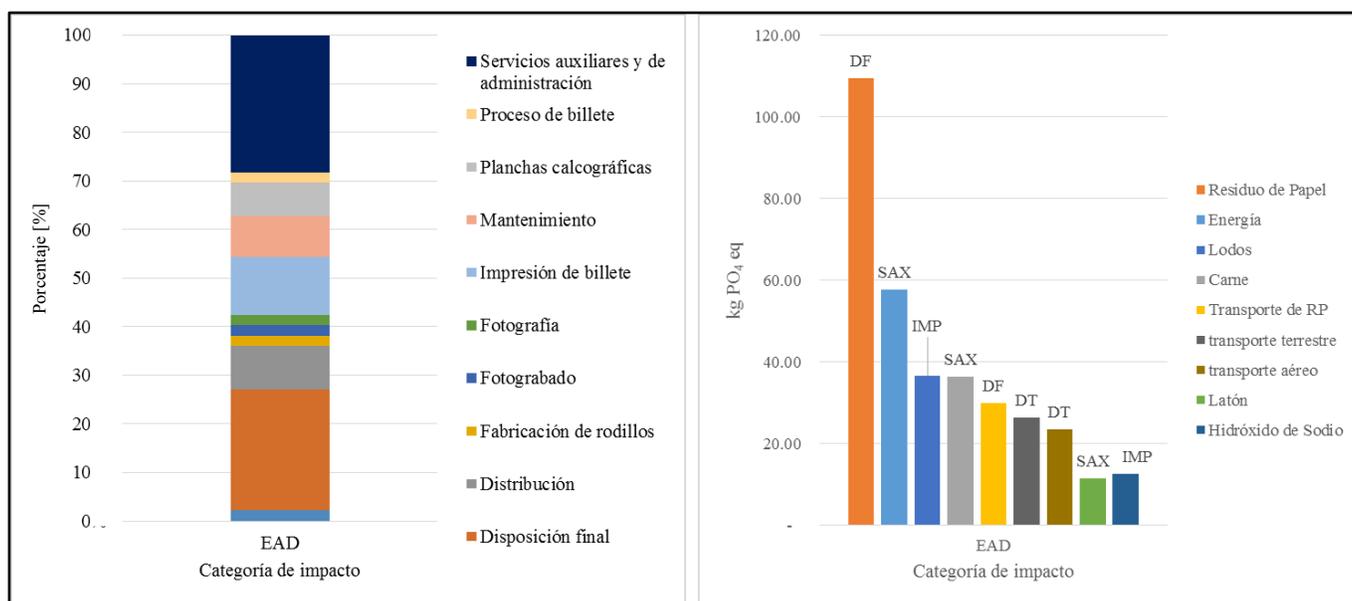


Figura 20. Resultados de impacto ambiental para la categoría de eutrofización de agua dulce.

*DF: disposición final; SAX: servicios auxiliares y de administración; IMP: Impresión de billete; DT: distribución.

Los resultados obtenidos en la Figura 20 mostraron que el módulo de servicios auxiliares y de administración generó el 28.22% del impacto (158.03 kg de P eq) la disposición final el 24.97% (139.79 kg de P eq) y el módulo de impresión el 11.92% (66.76 kg de P eq). Para el primer módulo (servicios auxiliares y de administración) el consumo de energía eléctrica generó el 36.58% y el consumo de carne de res el 23.05%, por otro lado, en el módulo de disposición final, los residuos de papel generaron el 78.33% y el transporte terrestre de los residuos el 21.42%. Los lodos del módulo de impresión causaron el 55.00%.

Los impactos de eutrofización por consumos de combustibles, energía y consumo de carne de res se deben principalmente a las descargas de fosfatos al agua en los proceso de refinación de crudo, al uso de fertilizantes en los suelos y en los alimentos donde pasta el ganado, así mismo, la degradación del papel de AD y oficina, emite nutrientes en forma de DBO y DQO

que por escorrentía llegan a cuerpos de agua, los cuales adquieren gran cantidad de nutrientes, generando consigo el crecimiento de algas y plantas. (Dias, A., and Capela, 2007).

Por otro lado, los lodos provenientes de los procesos de impresión pueden contener elementos como fósforo (P) y materia orgánica que contribuyen al impacto por eutrofización. Esto se confirma con los estudios realizados por López, V., Daza, (2013), donde se determinó que los lodos provenientes de procesos que utilizan papel contenían agua y materia orgánica (P) e inorgánica, representada en fibras celulósicas, arcillas, productos químicos de la coagulación, microorganismos y un alto poder calorífico.

5.5. Toxicidad humana

Los resultados obtenidos en la Figura 21 revelaron que la actividad de disposición final generó el 39.50% (1,133.26 ton DCB eq) del impacto por toxicidad humana, seguido de la distribución que aportó el 27.40% (785.94 ton DCB eq) y servicios auxiliares y de administración el 17.84%. (511.54 ton DCB eq).

Los procesos que generaron los mayores impactos en la actividad de disposición final fueron el transporte de residuos con 62.98% y el residuo de papel con el 36.10%. Así mismo, en la actividad de distribución, el transporte de billetes en camión generó el 80.17% y el transporte en avión el 19.83%. El uso de energía y el consumo de carne generaron el 37.83 % y 30.07% en el módulo de servicios auxiliares y de administración respectivamente.

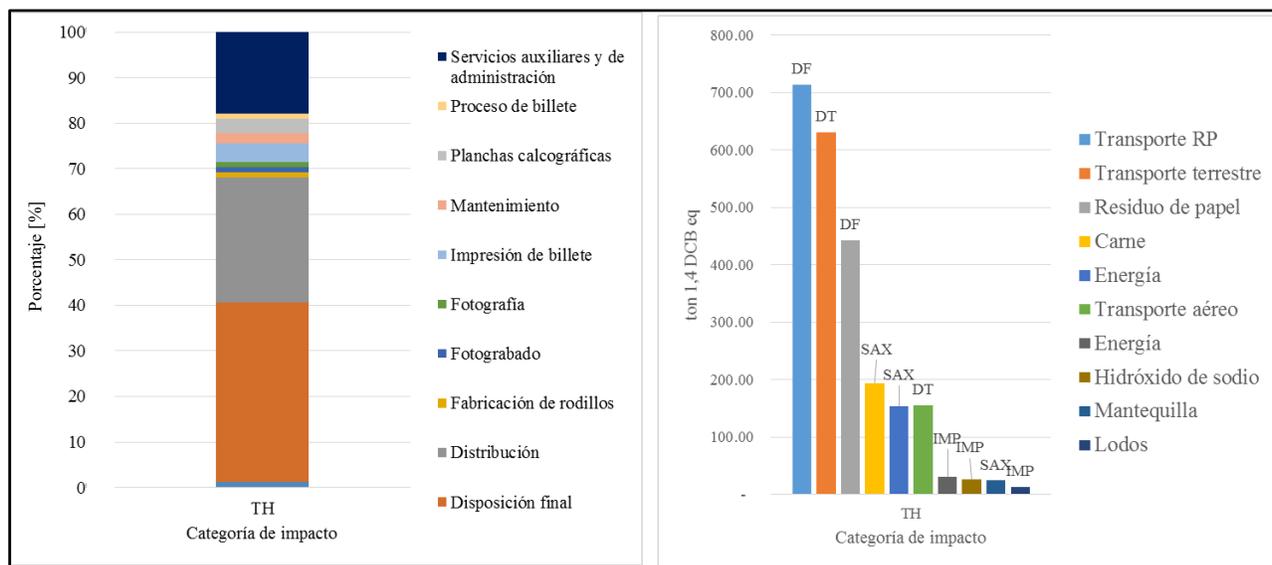


Figura 21. Resultados de impacto ambiental para la categoría de toxicidad humana.

*DF: disposición final; DT: distribución; SAX: servicios auxiliares y de administración.

Los impactos por toxicidad originados a partir de la producción y uso de combustibles se deben principalmente al riesgo humano por exposición a compuestos aromáticos como el

benceno, tolueno, etilbenceno y xileno, más comúnmente conocidos como BTEX. Así mismo, en los procesos de combustión de diésel, gasolina y turbosina se emiten contaminantes al aire como NO_x , CO y SO_x los cuales generan mala calidad del aire formando ozono estratosférico y ácido sulfúrico que en contacto con las personas, generan problemas de salud de tipo respiratorio y cancerígeno.

Por otro lado los impactos obtenidos por consumo de carne se deben principalmente al uso de plaguicidas y fertilizantes en la producción de alimentos y en el suelo donde pasta el ganado. Estudios realizados por Huerta, R, (2014) establecieron que la emisión de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH's), cromo hexavalente (Cr VI) y arsénico (As) provenientes del suplemento alimenticio de los animales contribuyen a los impactos por toxicidad humana.

De igual forma los impactos obtenidos en la disposición final del papel son producto de la generación de residuos peligrosos como solventes y aceites industriales en las áreas de producción e impresión, estos resultados son coherentes con los estudios de ACV de billetes realizados por Banco de México y documentado en la tesis de maestría de Lujan, C, (2015).

5.6. Agotamiento de minerales

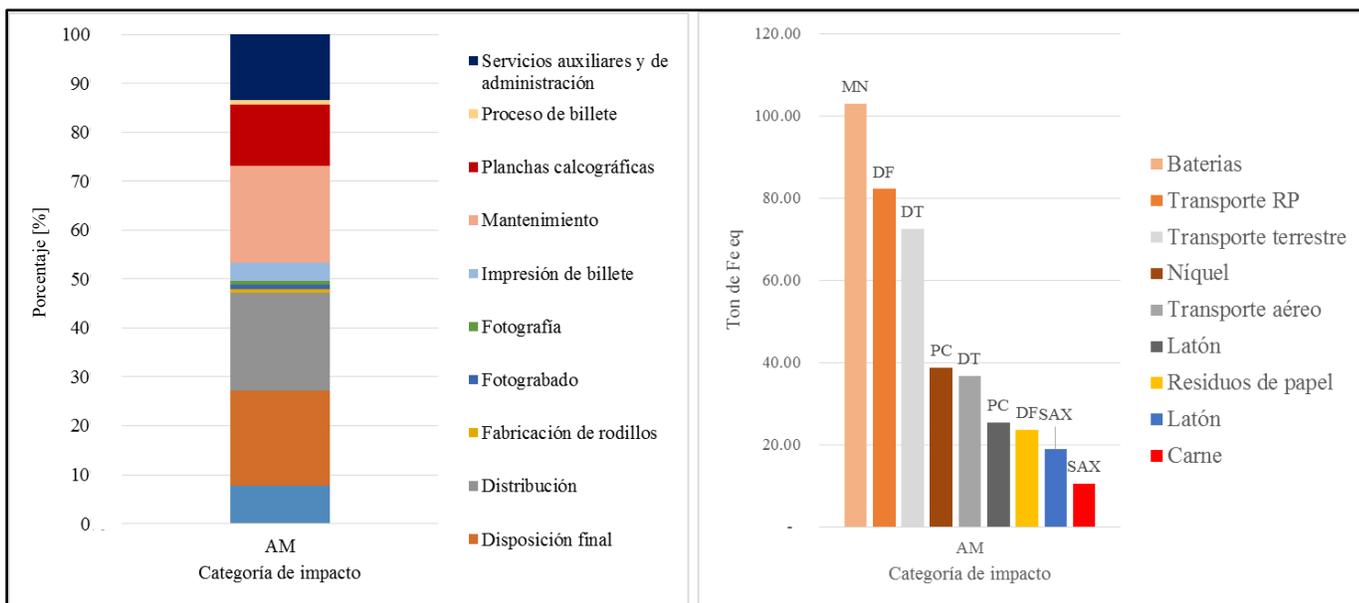


Figura 22. Resultados de impacto ambiental para la categoría de agotamiento de recursos minerales.

*MN: mantenimiento; DF: disposición final; DT: distribución; PC: planchas calcográficas; SAX: servicios auxiliares y de administración.

Los mayores impactos los obtuvo la actividad de distribución con el 19.94% (109.32 ton Fe eq), el segundo módulo de mayor impacto fue el de mantenimiento con 19.69% (107.96 ton Fe eq), siguió la disposición final con el 19.49% (106.90 ton Fe eq), el módulo de servicios auxiliares y de administración con el 13.51% (74.09 ton Fe eq) y el módulo de planchas calcográficas con el 12.58% (68.99 ton Fe eq).

Los procesos y materiales que generaron los mayores impactos para la actividad de distribución fueron el transporte terrestre de los billetes el cual aportó el 66.35% del impacto y el transporte aéreo de billetes con el 33.65%; para el segundo módulo (mantenimiento) el uso de baterías generaron el 95.23% y el consumo de electricidad el 4.04%; en la actividad de disposición final, el transporte de los residuos aportó el 76.85% y los residuos de papel contribuyeron con el 22.15%; en el módulo de servicios auxiliares y de administración, el uso de energía aportó el 29.47%, las balas del campo de tiro 25.71% y el consumo de carne de res 14.17%; en el módulo de planchas calcográficas, el uso de níquel impacto el 56.12% y la utilización de latón el 36.93%.

Los impactos obtenidos en la actividad de distribución, el módulo de mantenimiento, disposición final, servicios auxiliares y de administración y planchas calcográficas se deben a los requerimientos de minerales para la fabricación de los vehículos que transportan los billetes y residuos a relleno, así como de la fabricación de baterías y el latón usadas en el módulo de mantenimiento y en el campo de tiro del módulo de servicios auxiliares y de

administración. Por otro lado los impactos asociados al uso de energía y al consumo de carne son producto de la infraestructura que fue utilizada en las operaciones industriales para obtención de electricidad y producción de carne.

5.7. Agotamiento de la capa de ozono

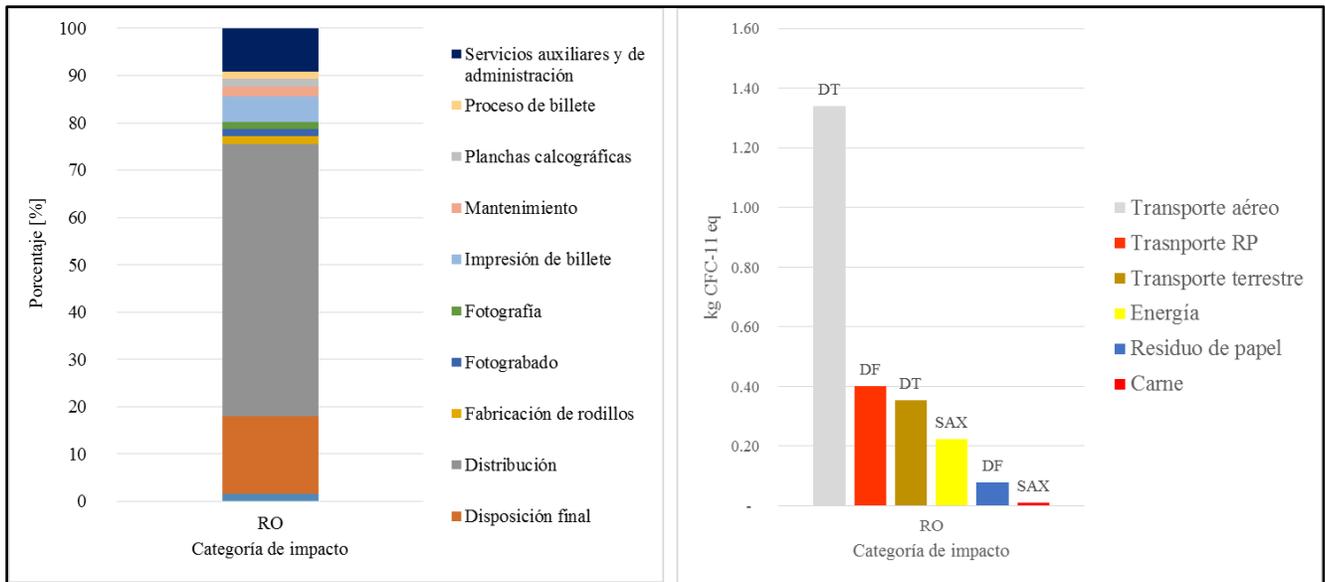


Figura 23. Resultados de impacto ambiental para la categoría de agotamiento de la capa de ozono. DT: distribución; DF: disposición final; SAX: servicios auxiliares y de administración.

En la categoría de agotamiento de la capa de ozono, los mayores impactos se presentaron en las actividades de distribución con el 57.54% (1.70 kg CFC-11 eq), disposición final con 16.44% (0.48 kg CFC-11 eq) y el módulo de servicios auxiliares y de administración con el 9.26% (0.27 kg CFC-11 eq).

Los procesos que contribuyeron al impacto por distribución fueron la distribución aérea y terrestre del billete con el 79.04% y 20.95% respectivamente. Así mismo el transporte de los residuos impacto con el 83.09% y la disposición final de papel el 16.26%. El consumo de energía contribuyó con el 82.08% al módulo de servicios auxiliares y de administración.

Se observó que en el Complejo Legaria, se emitieron un total de 5.25 kg CFC-11 eq de los cuales 0.95 kg CFC-11 eq correspondieron a las actividades directas de la organización, 2.12 kg CFC-11 eq a actividades corriente arriba (up-stream) y 2.18 kg CFC-11 eq a actividades corriente abajo (down-stream) mientras que el Banco de la República de Colombia emitió valores promedio de CFC equivalentes muy superiores en los años 2011 y 2012, que alcanzaron 42.75 kg de CFC-11 eq. La diferencia en ambas organizaciones se debe principalmente las condiciones climáticas del conjunto de oficinas del Banco colombiano, las cuales se encuentran en lugares con temperaturas promedio de 30 grados C, lo cual obliga

al uso de sistemas de refrigeración que utilizan el refrigerante R-22 (clorodifluorometano), el cual pertenece a la familia de los hidroclorofluorocarbonados (HFC) que impactan la capa de ozono de acuerdo a Elgendy et al (2014) and United Nations Environment Programme, (1999) .

5.8. Formación de oxidantes fotoquímicos

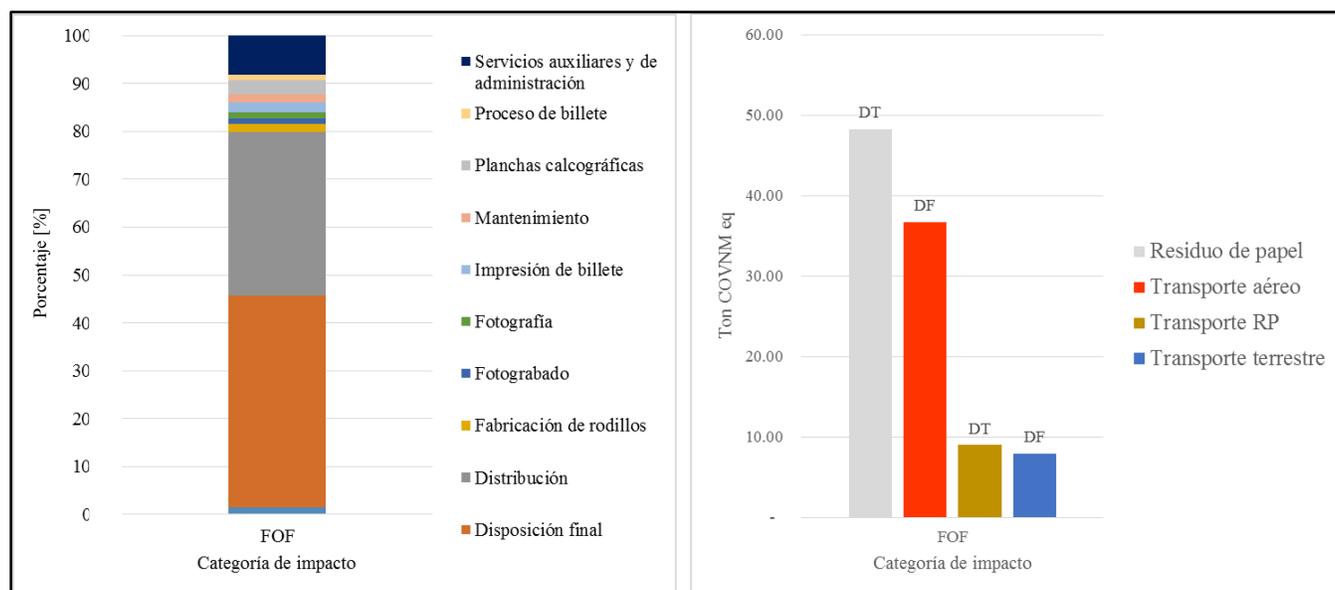


Figura 24. Resultados de impacto ambiental para la categoría de formación de oxidantes fotoquímicos.

*DF: disposición final; DT: distribución; SAX: servicios auxiliares y de administración.

En la categoría de formación de oxidantes fotoquímicos, la actividad de disposición final impactó en un 44.14% (57.40 ton de COVNM eq), la distribución el 34.30% (44.61 ton de COVNM eq) y el módulo de servicios auxiliares y de administración en 8.18% (10.75 ton de COVNM eq).

Los procesos que generaron los mayores impactos en la actividad de disposición final fueron el residuo de papel con el 84.08% y el transporte de los residuos con el 15.65%; en la actividad de distribución el transporte aéreo y terrestre de billetes generaron el 82.23% y 17.77% respectivamente. Por otro lado, en el módulo de servicios auxiliares y de administración, la energía causó el 71% y la carne el 8.23%.

Los impactos obtenidos por formación de oxidantes fotoquímicos en la actividad de disposición final, se deben a las emisiones atmosféricas producidas por el uso de energía y combustibles en los vehículos que operan el relleno sanitario para la disposición final de los residuos de papel. Así mismo la quema de combustibles utilizados en el transporte aéreo y terrestre de los billetes, contribuyeron a los impactos en la actividad de distribución. Entre tanto, el mix eléctrico mexicano, que utiliza combustibles fósiles para la obtención de

electricidad, es el causante de los impactos ambientales en el módulo de servicios auxiliares y administración.

La emisión de COVNM eq a la atmósfera propician la formación de ozono troposférico. El ozono troposférico se produce cuando los óxidos de nitrógeno (NOx) y los compuestos orgánicos volátiles (COV) de fuentes como los combustibles fósiles, reaccionan mediante procesos fotoquímicos a la luz del sol; algunas fuentes precursoras del ozono troposférico son las plantas termoeléctricas, los vehículos que funcionan con diésel o gasolina, y solventes químicos. Algunos problemas a la salud humana por inhalación de ozono son el deterioro de las funciones pulmonares, cefáleas, alteraciones en los sistemas inmunológicos, disfunción respiratoria, entre otros.

De acuerdo a SEDEMA, durante el año 2015, en la Ciudad de México, el Programa de Contingencia Ambiental fue activado 5 veces por altas concentraciones de ozono (>0.110 ppm NOM-020-2014), así mismo, hasta el 10 de Junio del año 2014, de 161 días transcurridos, solo el 50% de los días registraron concentraciones menores a las recomendadas por la norma. En ese sentido, es importante conocer alternativas que permitan el uso eficiente de los recursos por parte de Banco de México, en especial para el uso de combustibles fósiles utilizados en el transporte de billetes y residuos.

5.9. Acidificación terrestre

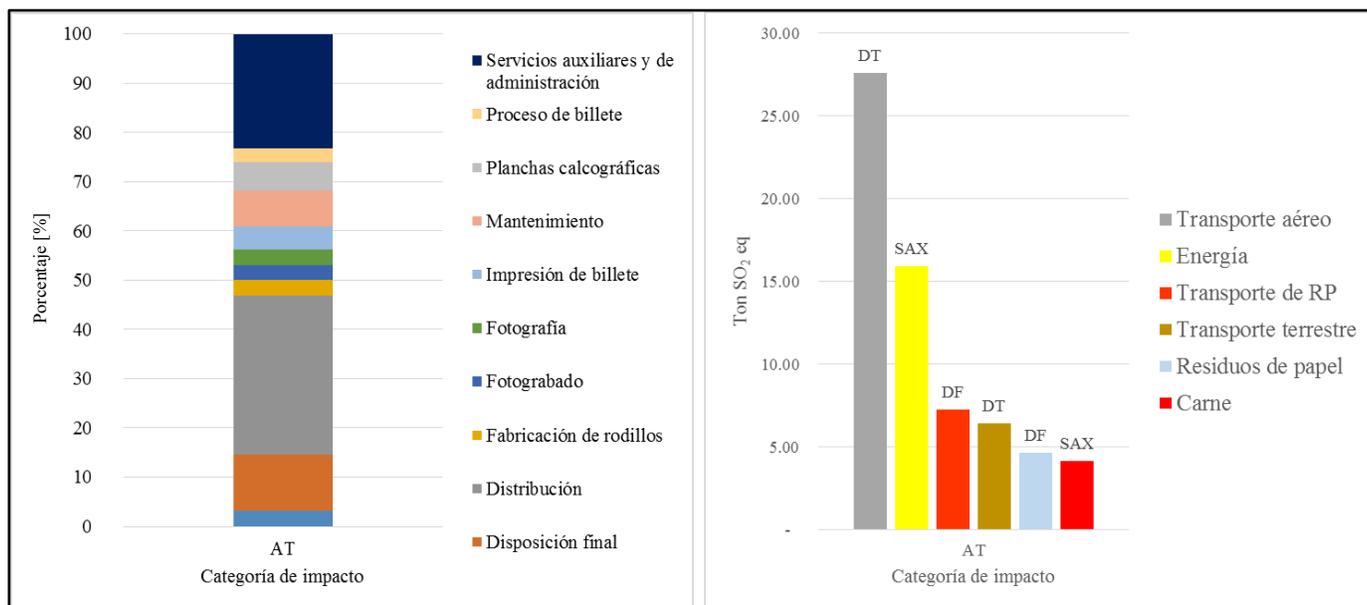


Figura 25. Resultados de impacto ambiental para la categoría de acidificación terrestre.

*DT: distribución; SAX: servicios auxiliares y de administración; DF: disposición final.

En la categoría de acidificación terrestre, la actividad de distribución aportó el 32.34% del impacto (33.99 ton SO₂ eq), el módulo de servicios auxiliares y de administración el 23.33% (24.52 ton SO₂ eq) y la disposición final el 11.46% (12.04 ton SO₂ eq).

Los procesos y materiales que contribuyeron a los impactos ambientales para la actividad de distribución fueron el transporte en avión y en camión de los billetes los cuales representaron el 81.13% y 18.87% de los impactos; en el módulo de servicios auxiliares y de administración la energía representó el 65% y la carne de res el 17.04%. Así mismo en la actividad de disposición final, el transporte de los residuos causó el 60.29% y los residuos de papel el 38.76%.

Los impactos por acidificación obtenidos en servicios auxiliares y distribución, se deben al uso de combustibles fósiles con contenido de azufre utilizado en vehículos y aviones que transportan los billetes y en la obtención de energía eléctrica (mix eléctrico mexicano) utilizado en oficinas.

Por otro lado, los impactos derivados por consumo de carne en el módulo de servicios auxiliares y de administración, se deben a las emisiones de amoníaco proveniente del estiércol de las vacas durante pastoreo. Huerta R. (2015). El amoníaco al entrar en contacto con el suelo, puede producir ácido nítrico el cual puede generar una disminución de la disponibilidad de nutrientes (P, Mg, Ca) en lugares donde estos pueden ser absorbidos por las plantas, de igual forma, la capacidad de neutralización del suelo disminuye a medida que

el pH se acidifica afectando el crecimiento de plantas y los procesos microbiológicos, en especial cuando el pH se encuentra en valores por debajo de 4.

5.10. Eco toxicidad terrestre

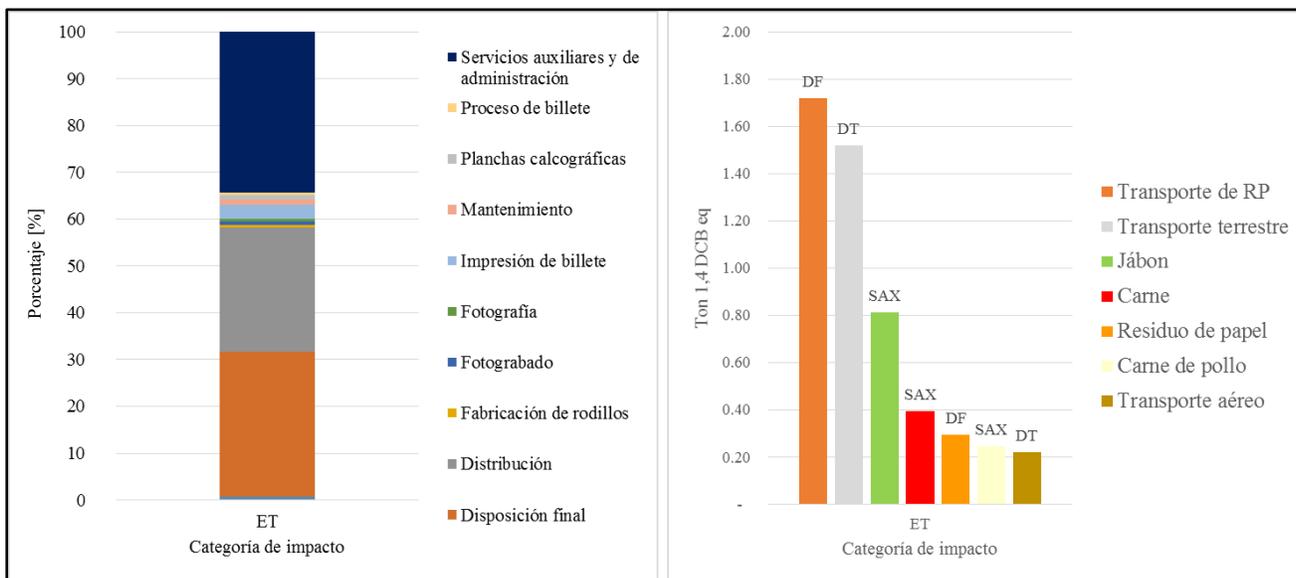


Figura 26. Resultados de impacto ambiental para la categoría de ecotoxicidad terrestre.

*DT: distribución; DF: disposición final; SAX: servicios auxiliares y de administración

Para esta categoría, el módulo de servicios auxiliares y de administración generó el 34.33% de los impactos totales (2.24 ton de 1.4 DCB al suelo eq), la actividad de disposición final el 31% (2.03 ton de 1.4 DCB al suelo eq) y la distribución aportó el 26.54%. (1.73 ton de 1.4 DCB al suelo eq).

En el módulo de servicios auxiliares y de administración, el uso de detergente impactó el 36.13%, la carne de res el 17.56% y la carne de pollo el 10.92%. En la disposición final el transporte de los residuos generó el 84.66% y los residuos de papel 14.52%; el transporte terrestre y aéreo de los billetes impactaron el 87.31% y 12.69% respectivamente en la actividad de disposición final.

Los impactos obtenidos por el uso de detergentes son producto de emisiones de metales como Vanadio (V), Bario (Ba), Selenio (Se) y Mercurio (Hg) en la formulación y producción de los mismos. Estos compuestos aumentan el riesgo de toxicidad en plantas, animales y seres humanos (Dewaele et al, 2006).

Por otro lado, la eco-toxicidad producida por la carne se debe a la emisión de arsénico (As) presente en los pesticidas utilizados en los cultivos destinados a la alimentación de los bovinos. Estos resultados coinciden con estudios hechos por Rööös et al, (2013) quien plantea que el sistema de producción de carne intensivo, tiene un potencial de toxicidad al ambiente por el uso de agroquímicos.

De igual manera en la extracción y uso de combustibles fósiles para la transformación de materias primas usadas en la alimentación de los animales generan emisiones de hidrocarburos aromáticos policíclicos, así como liberaciones al ambiente de selenio, níquel, baritina, benceno y vanadio los cuales son compuestos altamente tóxicos y cancerígenos.

5.11. Agotamiento de agua

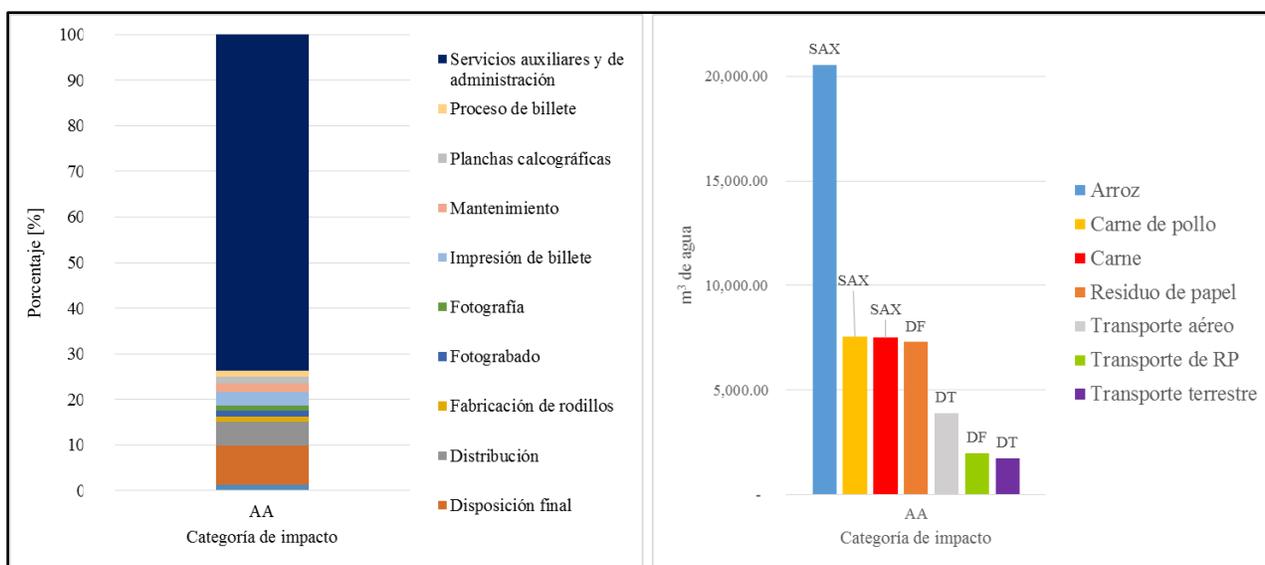


Figura 27. Resultados de impacto ambiental para la categoría de agotamiento de agua.

Para la categoría de agotamiento de agua, se apreció que el mayor impacto correspondió al módulo de servicios auxiliares y de administración el cual aportó el 73.77% (80,209.12 m³ de agua), siguió la actividad de disposición final con el 8.56% (9,312.57 m³ de agua) y la actividad de distribución con el 5.16% (5,614.21 m³ de agua).

Los materiales de mayor impacto para el módulo de servicios auxiliares y de administración fueron el arroz con el 25.60%, el pollo con 9.44% y la carne de res 9.35%. Por otro lado los materiales que mayor impacto generaron en la actividad de disposición final fueron los residuos de papel con el 78.31% y el transporte terrestre de los residuos con el 21.11%. En distribución, el transporte aéreo impactó el 69.09% y el transporte terrestre el 30.91%.

El uso de agua por consumo de arroz se debe principalmente a los sistemas de irrigación y uso excesivo de agua para la obtención de este alimento; de acuerdo a estudios realizados por Bouman, (2011), más del 75% de la producción anual de arroz provienen de 79 millones de hectáreas de tierra irrigada, así mismo Zhang, (2007) estimó que del total de agua utilizada en agricultura, el 70% era destinada exclusivamente para la producción de arroz.

El uso de agua por consumo de carne es producto de los procesos de riego en alimentos destinados a la dieta de los animales, hidratación de los mismos y el uso del recurso distando

a procesos de embalaje y otros ingredientes. En un estudio de huella de agua, realizado por Hoekstra, (2012), el consumo de agua a lo largo del ciclo de vida, por un kilo de carne es de 15,000 l de agua.

De igual forma los impactos obtenidos para las actividades de disposición final y distribución son resultado del uso de agua en la extracción y refinación de combustibles utilizados en los vehículos usados en el transporte de billetes, transporte de residuos y operación en relleno sanitario.

Capítulo 6

6. COMPARACIÓN DE INDICADORES DEL COMPLEJO LEGARIA CON INDICADORES DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Este capítulo muestra las aportaciones porcentuales que representan las emisiones de contaminantes del Complejo Legaria a la Ciudad de México tomando como referencia casos de estudio realizados por entidades gubernamentales como la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México.

Así mismo se presentan propuestas de mejora para los indicadores de impacto ambiental más significativos encontrados en el análisis de ciclo de vida organizacional del Complejo Legaria.

6.1. Cambio Climático

De acuerdo a la Secretaría de Medio Ambiente las emisiones totales de GEI de la Ciudad de México el año 2012 fueron de 30,721,848 toneladas de CO₂ equivalentes; las emisiones incluyen las fuentes ubicadas dentro de la Ciudad de México, fuentes fuera del área de estudio por la generación de electricidad para el desarrollo de actividades en la ciudad así como las emisiones debidas a la disposición final de los residuos en relleno sanitario. (Secretaría del Medio Ambiente., 2014).

De acuerdo al reporte del Programa de Acción Climática de la Ciudad de México realizado por el Centro Mario Molina se destaca que el 80% de las emisiones de gases de efecto invernadero de la Ciudad de México se atribuyen al consumo de energía en forma de combustibles fósiles utilizados en transporte, industria, comercio, servicios y de manera indirecta las derivadas del consumo de electricidad.

En la Figura 28 se presentan los porcentajes de contribución para cada una de las categorías del inventario.

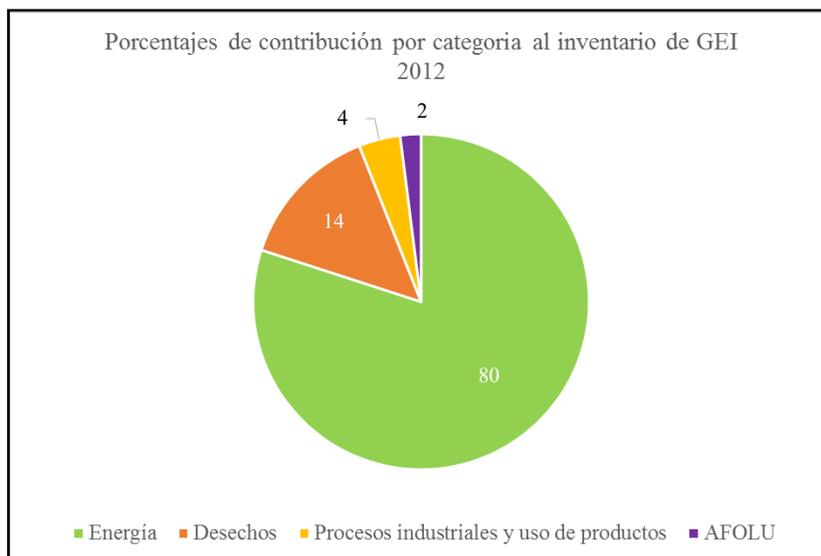


Figura 28. Contribución porcentual por categoría al inventario de GEI de la Ciudad de México en el año 2012. SEDEMA. (2012).

6.1.1. Emisiones del Gobierno Local

Las emisiones generadas por el Gobierno Local comprenden las emisiones generadas en las instalaciones de la planta de asfalto y plantas productoras de triturados basálticos Parres; así mismo se incluyen las emisiones provenientes por consumo eléctrico en alumbrado público, semáforos y bombeo de agua.

En el sector transporte, se incluyen las emisiones de los vehículos de combustión interna a cargo del gobierno del Distrito Federal los cuales incluyen vehículos oficiales, autobuses de la Red de Transporte Público y del Sistema de Transporte Metrobús, además de las generadas por el consumo de electricidad del trolebús y tren ligero. También se tienen en cuenta las emisiones generadas por fuentes móviles que no circulan por vialidades, como el metro que circula sobre vías confinadas, la maquinaria que se desplaza en sitios de construcción y aeronaves.

Para los residuos se incluyen las emisiones generadas por la disposición final de residuos sólidos, por el tratamiento de aguas residuales y descargas de aguas negras. En otras emisiones, se tienen en cuentas las emisiones fugitivas de metano debidas al uso de gas licuado de petróleo.

6.1.2. Emisiones de la comunidad

En el sector residencial se incluyen las emisiones generadas por consumo de electricidad y uso de combustibles fósiles (GLP y gas natural) en las viviendas.

En el sector comercial se incluyen las emisiones generadas por consumo de electricidad y uso de combustibles en los centros comerciales y de servicios. Por otro lado en el sector industrial se tienen en cuenta las emisiones provenientes del consumo eléctrico y uso de combustibles fósiles en las industrias manufactureras y las de generación de electricidad.

Para el sector de transporte se incluyen las emisiones de vehículos motorizados que circulan y que no circulan por vialidades como la operación de autobuses dentro de las centrales camioneras, las locomotoras, aeronaves y maquinaria agrícola y de construcción.

En la categoría de residuos se incluyen las emisiones generadas por la industria en los procesos de tratamiento de las aguas residuales y en la categoría de otras emisiones las fugas de metano provenientes del aprovechamiento de GLP.

Tabla 27. Emisiones totales de Gases de Efecto Invernadero, Distrito Federal-2012. SEDEMA. (2012).

Sector		[t CO ₂ -eq]	[%]
Gobierno local	Edificios	170,839.00	0.56
	Instalaciones	562,930.00	1.83
	Transporte	1,057,128.00	3.44
	Residuos	4,379,735.00	14.26
	Otras emisiones	N/S	N/S
	Total	6,170,632.00	20.09
Comunidad	Residencial	4,028,724.00	13.11
	Comercial	2,010,083.00	6.54
	Industria	5,374,177.00	17.49
	Transporte	12,620,635.00	41.08
	Residuos	482,750.00	1.57
	Otras emisiones	34,847.00	0.11
	Total	24,551,216.00	79.91
Total (gobierno+comunidad)		30,721,848.00	100.00

*N/S: No significativo

En la Tabla 27 se observa que la comunidad tiene una contribución importante en los sectores de transporte (41.1%), industria (17.5%) y residencial (13.1%) que sumados aportan el 71.7% de las emisiones totales de la entidad, el porcentaje restante es generado por los comercios (6.5%); residuos (1.6%), y sector de otras emisiones que incluye actividades agropecuarias y las fugas de gas L.P (0.1%).

El Gobierno Local a través de los sectores de residuos y transporte aportan el 14.3% y 3.4% respectivamente representando poco más del 17% de las emisiones totales en la Ciudad de México; los edificios e instalaciones a cargo del gobierno aportan en conjunto el 2.4%.

6.1.3. Comparación de indicadores de Cambio Climático de la Ciudad de México con los del Complejo Legaria

Las comparaciones de GEI que se muestran a continuación corresponden a las emisiones de CO₂ equivalentes generadas por la Ciudad de México en el año 2012 y el Complejo Legaria en el año 2013. Los datos de inventario obtenidos por la Ciudad de México son los más actualizados y hasta la fecha no existe publicaciones de inventarios para años posteriores al 2012.

Aportación porcentual del Complejo Legaria a las emisiones por transporte de la Ciudad de México en el año 2012

Las emisiones provenientes de la distribución terrestre de billetes en la Ciudad de México fueron de 3215.78 ton de CO₂ eq. Estas emisiones fueron producto del consumo del Diésel utilizado para recorrer 168,890 km; en ese sentido la aportación del Complejo Legaria a las emisiones por transporte de la Ciudad de México fueron del 0.03%, aunque sería importante mencionar que para tener una comparación más real sería necesario considerar el transporte de los empleados y funcionarios del Complejo Legaria.

Aportación porcentual de las emisiones de CO₂ eq generadas por residuos del Complejo Legaria a las emisiones por residuos generadas en la Ciudad de México en el año 2012

En el Complejo Legaria se emitieron 1,115 ton CO₂ eq por residuos de billetes, contenedores, empaques y el transporte de residuos a relleno sanitario. Estas emisiones representaron el 0.23% de las emisiones totales por residuos en la Ciudad de México.

6.2. Residuos Sólidos

6.2.1. Comparación de los indicadores de residuos sólidos urbanos y residuos de manejo especial generados en la delegación Miguel Hidalgo y en el Complejo Legaria en el año 2013

Las comparaciones realizadas a continuación corresponden a datos de inventarios realizados por la Secretaría de Medio Ambiente para la Delegación Miguel Hidalgo en el año 2013.

En el año 2013, la Ciudad de México generaba 12,893 ton RSU/día producidos por 8,851,080 habitantes de población fija y flotante proveniente de la Zona Metropolitana del Valle de México. Las delegaciones con mayor generación fueron Iztapalapa con 2274 ton RSU/día, Gustavo A Madero con 1709 ton RSU/día y Cuauhtémoc con 1325 ton RSU/día; por otra parte la delegación Miguel Hidalgo generó 806 ton RSU/día.(SEMARNAT., 2013).

Aportación porcentual del Complejo Legaria a la generación de residuos sólidos urbanos de la Delegación Miguel Hidalgo

Del total de residuos sólidos urbanos generados por la Delegación Miguel Hidalgo en el año 2013 (294,190 ton), el Complejo Legaria aportó el 0.0057% (16.72 toneladas de RSU al año). Así mismo, la generación de residuos orgánicos por parte la Delegación Miguel Hidalgo fue de 37,230 ton /año de los cuales el Complejo Legaria representó el 0.48% (179.16 ton de residuos orgánicos al año).

Aportación porcentual del Complejo Legaria a la generación de residuos reportados por las industrias y que se encuentran registrados en la Licencia Ambiental Única (categoría c, entre 250 y menos de 500 kg/día) en la Ciudad de México.

De acuerdo a la Secretaría de Medio Ambiente, los residuos sólidos reportados en la LAUDF categoría C fueron de 32,200 ton/año; de los cuales el 7.45% (2399 ton/año) correspondieron a lo generado por el Complejo Legaria.

Así mismo, de acuerdo al inventario de residuos sólidos de la Ciudad de México, en el año 2013 se generaron 202,001 ton/año de residuos de manejo especial en el sector industrial de los cuales 2,382 ton/año correspondieron a RME generados en el complejo Legaria, es decir el 1.18%.

6.3. Descargas de agua residual.

6.3.1. Comparación de indicadores de descargas de agua residual de la delegación Miguel Hidalgo y Complejo Legaria.

Los datos obtenidos para los inventarios de la generación de agua residual que se muestran en la Tabla 29, corresponden a la Comisión Nacional del Agua (2014).

Tabla 28. Plantas de tratamiento de aguas presentes en la Delegación Miguel Hidalgo. (Conagua, 2014)

Municipio	Localidad	Nombre de la Planta	Proceso	Capacidad instalada [L/s]	Caudal tratado [L/s]	Cuerpo receptor o reúso	Observaciones
Miguel Hidalgo	Miguel Hidalgo	Bosques de las Lomas	Lodos activados	55.00	16.00	Áreas verdes delegación Miguel Hidalgo	Operada por SACM
Miguel Hidalgo	Miguel Hidalgo	Chapultepec	Lodos activados	160.00	74.00	Áreas verdes de la primera y segunda sección del bosque de Chapultepec, llenado de lagos y corredor turístico de la avenida Paseos de la Reforma	Operada por SACM
Miguel Hidalgo	Miguel Hidalgo	Campo Militar No. 1-A	Lodos activados	30.00	25.00	Áreas verdes	Operada por SEDENA

De acuerdo al Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y Tratamiento de Aguas Residuales, la Delegación Miguel Hidalgo trata al año 3,626,640 m³ de agua residual de los cuales el 0.92% es descargado por el Complejo Legaria (33,328 m³).

Capítulo 7

7. PROPUESTAS DE MEJORA

A continuación se exponen las propuestas de mejora que ayudarían a reducir los impactos ambientales más significativos encontrados en el análisis de ciclo de vida organizacional del Complejo Legaria. Se hará énfasis en el uso eficiente de energías renovables, agua y aprovechamiento de residuos.

En la evaluación del ciclo de vida organizacional, se pudo apreciar que algunos procesos y materiales se repetían en varias categorías de impacto como se ve en la Tabla 30. Para aquellos materiales y procesos que más se repiten por categoría se realizaron propuestas de mejora con el objetivo de mejorar el desempeño ambiental de la organización.

Tabla 29. Materiales y procesos que generan los impactos mas repetitivos en cada una de las categorías evaluadas.

Material o proceso	Categoría de impacto												Total
	OA	CC	AF	EAD	TH	AM	RO	FOF	AT	ET	AA		
Carne	x	x	x	x	x				x	x	x	8	
Carne de pollo										x	x	2	
Arroz											x	1	
Papel de oficina			x									1	
Nickel y latón						x						1	
Detergente										x		1	
Mix eléctrico		x	x	x		x	x	x	x			7	
Uso de baterías						x						1	
Uso de balas						x						1	
Residuos de papel (alta durabilidad y oficina)	x	x	x	x	x			x	x	x	x	9	
Residuos de polímero		x										1	
Distribución aéreo y terrestre de billetes		x	x		x	x	x	x	x		x	8	
Transporte de residuos peligrosos		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	10	
Lodos de proceso de impresión				x								1	

Como se aprecia en la Tabla 29, las actividades que impactaron en varias categorías fueron distribución aérea y terrestre de billetes, transporte de residuos peligrosos a tratamiento y disposición y la obtención de energía a partir del mix eléctrico mexicano. Así mismo los materiales que más se repiten por categoría son la carne de res, los residuos de papel y la carne de pollo; los otros materiales que solo impactaron en una categoría, representaron los de mayor contribución porcentual. A continuación se expresan las propuestas de mejora para la disminución de los impactos ambientales.

7.1. Propuestas de mejora para los procesos de distribución aérea, terrestre de billetes y transporte de residuos peligrosos

La propuesta de mejora para la distribución terrestre de los billetes consiste en la sustitución de la tecnología de los motores que funcionan con diésel a gas natural o dual fuel (diésel y gas natural). Los costos económicos iniciales para la conversión tecnológica según Fenosa se encuentra de alrededor de los \$348,000 pesos mexicanos; esta inversión, puede verse amortizada al año de operación puesto que los ahorros obtenidos están ligados a los precios de los combustibles que son de \$37,140 pesos mexicanos/litro para vehículos que funcionan con diésel y \$6,992 pesos mexicanos/litro para vehículos que usan gas natural (Figura 29).(Deloitte Touche Tohmatsu Limited, 2014).

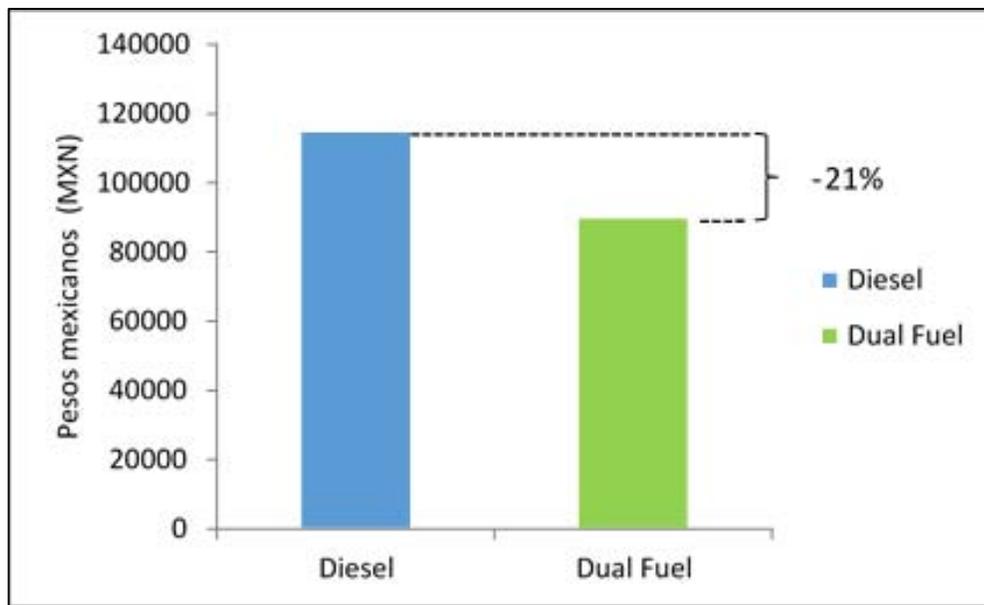


Figura 29. Costos asociados al consumo de diésel y dual fuel (gas natural y diésel). (Deloitte Touche Tohmatsu Limited, 2014)

A Continuación se realiza una breve comparación de un vehículo modelo MAN 480 con respecto al mismo modelo transformado para su funcionamiento con gas natural (Tabla 30).

Tabla 30. Comparación técnica y económica de la operación de un mismo modelo de vehículo de transporte de mercancía pesada que opera con gasóleo y dual-fuel (Deloitte Touche Tohmatsu Limited, 2014).

Característica de los vehículos	Vehículo 1	Vehículo 2
Combustible	Diesel	GNC – Diesel (Dual-fuel)
Cilindraje (cm ³)	11,800	11,800
Potencia (CV)	480	480
Coste de transformación (MXN)	N/A	300,000
Consumo de combustible (\$/100 km)	115,000 MXN	90,000 MXN (GN 63,400 MXN, Gasóleo 26,600 MXN)

*GNC: gas natural comprimido

*CV: caballo vapor

A partir de estos datos, se determinó que la distancia necesaria para que el ahorro alcanzado compense la inversión de transformar el vehículo es aproximadamente 123,000 km. Considerando los rangos de kilometraje anual de este tipo de vehículos, el retorno de inversión podría producirse en menos de un año

Por otro lado, los beneficios ambientales obtenidos en la implementación de gas natural como combustible están representados en bajas emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxidos de nitrógeno (NO₂), dióxido de carbono (CO₂), y material particulado (PM). Así mismo, existen beneficios relacionados con el ciclo de vida de los combustibles puesto que la contaminación emitida por litro de diésel o gasolina es significativamente mayor que la emitida por litro de gas natural debido a los procesos de extracción, transformación y transporte.

Otros beneficios ambientales del uso de gas natural como combustible en vehículos pesados de transporte son:

- Reducción de las emisiones hasta en un 90% (PM10)
- No contamina el suelo y los mantos freáticos
- Su nivel de ruido es mucho menor que el de los motores convencionales
- Su combustión es prácticamente libre de olor

En la Figura 30 se puede observar que las emisiones de CO₂ por kilogramos de combustible de gas natural son menores si se comparan con otros tipos de combustibles.

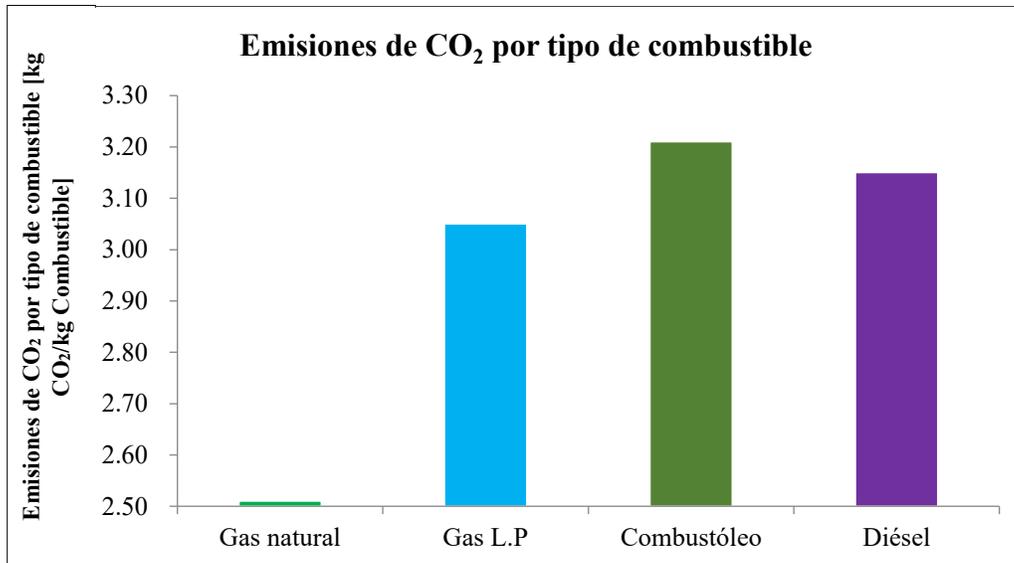


Figura 30. Emisiones expresadas en CO₂ eq generadas a partir del consumo de diferentes tipos de combustibles. (Deloitte Touche Tohmatsu Limited, 2014).

Otro de los puntos que se deben considerar son las barreras que pueden existir en México en cuanto al desarrollo del gas natural vehicular como combustible. Algunas de estas barreras son:

Falta de regulación: ésta puede afectar a distintos parámetros que condicionan el potencial de ahorro de un vehículo a gas natural lo cual puede limitar el interés público de la tecnología.

Falta de infraestructura para el reabastecimiento: especialmente para el gas comprimido, si no existen suficientes vehículos de gas natural en la Ciudad de México, no se da el incentivo necesario para la construcción de la infraestructura. Un dato clave es que la distancia de las estaciones de servicio debe estar a no más de 150 km para vehículos que funcionan con gas natural comprimido y 400 km para vehículos que funcionan con gas natural licuado.

Mayor coste inicial del vehículo: El coste diferencial puede suponer una barrera por la falta de liquidez, la dificultad para acceder al financiamiento o el mayor riesgo percibido por el comprador.

En cuanto a las estrategias de mitigación para las emisiones de CO₂ una estrategia que podría adoptar el Complejo Legaria para la distribución de billetes sería la de comprar bonos de carbono a proyectos e iniciativas desarrolladas en el país para la generación de energía renovable y captura de carbono. Un bono de carbono equivale a 1 tonelada de CO₂ no emitida al medio ambiente que puede ser comprada por empresas que buscan reducir o mitigar sus emisiones de GEI.

En México, existe la plataforma de México2 que nace de la Ley de Cambio Climático, la cual establece como meta la reducción en un 30% de las emisiones de CO₂ para el año 2020 y de

50% para el año 2050. México2 posee una serie de proyectos sostenibles los cuales buscan generar empleo, bienestar y reducir las emisiones de GEI en la República Mexicana.

En la actualidad, México2 cuenta con 12 proyectos que generan bonos de carbono y que las empresas pueden comprar; estos proyectos son:

- Destrucción de óxido nitroso en Lázaro Cárdenas
- Planta eólica “La Venta”, Oaxaca
- Planta eólica en Juchitán, Oaxaca
- Relleno Sanitario de Ciudad Juárez
- Programa “Utsil Naj”, bonos para reducir la pobreza
- Recuperación, quemado y utilización del gas en el relleno sanitario “Culiacán Norte”
- Captura de metano en granjas de Sonora
- Captura de metano en minas de carbón en Coahuila
- Parque eólico en Oaxaca
- Reforestación en Chiapas (El Ocote, Selva Lacandona y Sierra Madre de Chiapas)
- Relleno Sanitario en Guanajuato
- Captura de metano en granjas de Jalisco

Complejo Legaria, para mitigar sus emisiones de CO₂ eq, del consumo de combustibles fósiles en la distribución de billetes, podría participar en las iniciativas impulsadas por el gobierno mexicano a través de las Acciones Apropriadas de Mitigación (NAMAS por sus siglas en inglés). Este instrumento podría ser utilizado para la gestión de recursos económicos por parte del Banco a proyectos destinados a reducir las emisiones de GEI.

Por otro lado, otra alternativa existente para la mitigación de las emisiones de GEI se enfoca en el aprovechamiento de áreas verdes presentes en las instalaciones físicas del Complejo Legaria para la siembra de árboles que absorban CO₂. observando el área potencial de aprovechamiento (2935 m²) en jardines; algunas de las especies que pueden ser utilizadas para la absorción de CO₂ son las que se muestran en la Tabla 31 y 32.

Tabla 31. Estimación del carbono capturado por tipo de especie de árbol. (Schlegel B et al, 2001)

Especie	kg C/m ³ madera	t CO ₂ /m ³ madera	Volumen promedio (m ³ /ha)
Eucalyptus Nitens	347,30	1,27	153,00
Eucalyptus Globulus	493,90	1,81	26,00
Pinus Radiata	360,40	1,32	95,70

Tabla 32. Capacidad de absorción de CO₂ por edad y tipo de especie de Eucalyptus y Pinus. (Schlegel B et al, 2001)

	t CO ₂ /ha			
Edad (años)	3,00	6,00	8,00	11,00
Eucalyptus Globulus	79,88	90,98	118,50	172,74
	t CO ₂ /ha			
Edad (años)	3,00	6,00	8,00	11,00
Eucalyptus Nitens	79,88	90,98	118,50	172,74
	t CO ₂ /ha			
Edad (años)	7,00	16,00	23,00	
Pinus Radiata	51,01	346,45	368,84	

7.2. Propuestas de mejora para la disposición final de los residuos de papel de alta durabilidad y papel de oficina

Para los residuos de papel de AD y de oficina, se propone estrategias de reutilización y aprovechamiento a través de composta o generación de biogás por medio de biodigestor; esto acompañado de otros residuos como los lodos provenientes del tratamiento de aguas en el reactor biológico, residuos de poda y residuos de alimentos. Es preciso hacer estudios más detallados para determinar la relación de carbono/nitrógeno óptimo para la obtención de compostaje de alta calidad, un ejemplo de esta relación es que por cada molécula de nitrógeno (N) hayan 30 moléculas de carbono, es decir una relación C/N 30/1. En la Tabla 33 se

muestran las relaciones de C/N de una serie de residuos que pueden ser utilizados para la obtención de compostaje.

Tabla 33. Relación de carbono y nitrógeno de algunos residuos y productos animales y vegetales. (SEGARPA, 2014).

Resido	Relación C/N
Residuos de comida	15/1
Madera según la especie	6/1
Papel	170/1
Pasto fresco	10/1
Hojas (según su hoja)	Entre 40/1 y 80/1
Desechos de fruta	35/1
Estiércol de vaca	20/1
Tallos de maíz	60/1
Paja de trigo	80/1
Alfalfa	13/1
Humus	10/1
Trébol verde	16/1
Trébol seco	16/1
Leguminosas en general	25/1
Paja de avena	80/1
Aserrín	500/1

Los residuos de comida, madera, papel, pasto fresco, hojas y desechos de fruta son producidos por el Complejo Legaría y enviados a disposición final. Estos residuos junto con los de maculatura de papel de alta durabilidad y papel de oficina tienen un potencial de aprovechamiento para la producción de composta que puede ser usada para jardines y áreas verdes de la organización.

Otra de las rutas para aprovechamiento de los residuos orgánicos es, a través de empresas que se especialicen en estos temas; a continuación se presenta una lista de plantas de composta que la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México que a través de la Secretaría de Obras y Servicios ofrece como alternativa a la disposición de residuos orgánicos (Tabla 34).

Tabla 34. Plantas de Composta en la Ciudad de México

Planta de Composta	Ubicación	Teléfono
Bordo Poniente	Autopista Peñón Texcoco, km 2.5, Zona Federal de Texcoco	55 9183 3700
San Juan de Aragón	Bosque de San Juan de Aragón	55 5100 28
Álvaro Obregón	Av. 5 de Mayo, Col. Lomas de Tarango	55 4554 0956
Cuajimalpa	Av. De las Torres s/n Col. Loma del Padre (La Papa)	55 1263 40

Planta de Composta		Ubicación	Teléfono
Iztapalapa		Interior del Panteón Civil de San Lorenzo Tezonco, Av. Tláhuac.	58 0446 00 extensiones 4795 y 4796
Milpa Alta	San Pedro Actopan	Camino a malcaso	53 3406 74
	Villa Milpa Alta	Villa Milpa Alta	
Xochimilco		Periférico Oriente casi esq. Canal Nacional, Del. Xochimilco	

Fuente: Secretaría de Obras y Servicios y Delegaciones (Sedema, 2014)

Las plantas de compostaje enlistadas tienen la capacidad para brindar servicio a empresas públicas y privadas, produciendo composta destinada a mejoramiento de suelos de camellones, áreas verdes de la red vial primaria, parques y jardines y en menor medida a la actividad agrícola y producción agropecuaria (Sedema, 2014).

Adicionalmente, se presenta como posibilidad contactar a la empresa COMPOSTAMEX S.A. de C.V. (COMPOSTAMEX, 2016), especializada en brindar soluciones para el procesamiento de residuos orgánicos mediante compostaje con procesos aerobios monitoreados. Dicha empresa se ubica en Guadalajara Jalisco, y se dedica a la construcción de áreas para compostaje y biorreactores, realizando análisis de factibilidad y caracterización de residuos, brindando la maquinaria, el equipo, y la capacitación necesaria para el óptimo manejo de una planta de composta.

- COMPOSTAMEX: Tel: +52 33 3669 5519

7.3. Propuestas de mejora para el consumo de carne

Los impactos obtenidos a partir del consumo de carne están relacionados con los procesos de producción de los alimentos para los animales y el mantenimiento de los mismos. El comedor del Complejo Legaría de manera indirecta es responsable de los impactos ambientales ocasionados puesto que tiene el poder decisión de seguir comprando carne o reemplazar este producto por sustitutos.

La propuesta de mejora para el consumo de este producto está dirigida a la reducción de los gramos que se consumen por persona. Estudios confirman que los gramos óptimos por consumo de carne deben ser de 150 gramos por persona siempre y cuando se consuma este

alimento ocasionalmente; en el caso de que el consumo sea frecuente la cantidad debe bajar a los 80 gramos por ingesta.

Así mismo la frecuencia de consumo de carne por mes podría ser de 5 veces. El promedio por consumo de carne reportado por Complejo Legaria es de 7 veces por mes, reducirla ayudaría a un consumo menor de la carne y por consiguiente una reducción de los impactos ambientales que trae consigo este producto.

Por otro lado, otra alternativa para disminuir los impactos asociados al consumo de carne está dirigida a encontrar sustitutos a base de carnes vegetales, micro proteína, base láctea o sustitutos animales. Estudios realizados por Hajansson et al. (2005); Nohebel et al. (2007); Roats. (2007). Blonk et al, (2008); Van Huis, (2013); confirman que el consumo de carne sustituta genera menores impactos que la carne convencional.

7.4. Propuestas de mejora para el proceso de obtención de energía eléctrica (mix eléctrico de México)

El consumo de energía proveniente del mix eléctrico de México causó los mayores impactos en 7 de las 11 categorías evaluadas para Complejo Legaria; es por ello que la propuesta de mejora va dirigida al aprovechamiento de la infraestructura con la que cuenta el Complejo para implementar paneles fotovoltaicos para obtención de energía solar.

De acuerdo a la Secretaría de Energía, el 91% de la energía producida en México es obtenida a partir de combustibles fósiles y solo el 7% es a partir de energías renovables; así mismo, el Gobierno de México prevé que para el año 2020 el país sufrirá de un déficit energético debido al agotamiento de las reservas de combustibles fósiles para obtención de energía lo que incrementará el precio por kWh; actualmente el precio promedio por kWh es de 4.12 pesos mexicanos para grandes consumidores energéticos. Mundo H, (2014).

Complejo Legaria cuenta con infraestructura física óptima para la implementación de paneles solares que pueden aprovechar la energía solar. El espacio del techo disponible en el Complejo es de aproximadamente 8500 m² de los cuales 6000 m² son utilizables, así mismo, debido a la ubicación geográfica de México, la radiación solar promedio es de 5 kWh por día, constituyéndose en una radiación óptima para la obtención de energía eléctrica a partir del sol. Mundo H, (2014)

A continuación se detalla una propuesta para la instalación de paneles solares en los techos del Complejo Legaria; el panel de referencia es el que se presenta en la Figura 31.



Figura 31. Panel fotovoltaico ERDM320M6

El panel propuesto, que se muestra en la Figura 31 es elegido debido a su alta potencia en comparación con los paneles encontrados en el mercado. El cálculo para determinar el número de paneles que darían suministro a todo el Complejo Legaria se realizó considerando que todos los equipos (administrativos y de fábrica) funcionan las 24 horas del día, los 365 días a la semana. En este caso el número total de paneles necesarios para dar suministro a todo el Complejo Legaria es de 3,287, que necesitarían un área de 5.3 hectáreas (área obtenida a partir de imágenes satelitales). Cabe resaltar que para un diagnóstico preciso del número de paneles a instalar, se debe realizar un estudio de eficiencia energética de todo el Complejo, considerando número de equipos (industriales y de oficinas) y su tiempo de consumo por día, además del consumo eléctrico por luminarias, motores, entre otros.

La potencia estimada (1052 kW) para la determinación del número de paneles solares fue resultado de la división del consumo de electricidad anual del Complejo Legaria (9,213,600 kWh/año) entre 8,760 horas en un año (24 horas x 365 días).

El costo total de los 3,287 paneles sería de 757,282 USD. Tomando en cuenta el costo promedio por kWh en México (\$4.12 MXN), el costo del consumo eléctrico del Complejo Legaria en el año 2013 sería de aproximadamente \$37,960,032 MXN. Por lo tanto, si se llegaran a instalar paneles fotovoltaicos, el retorno de inversión podría obtenerse en el cuarto mes. (Figura 32)

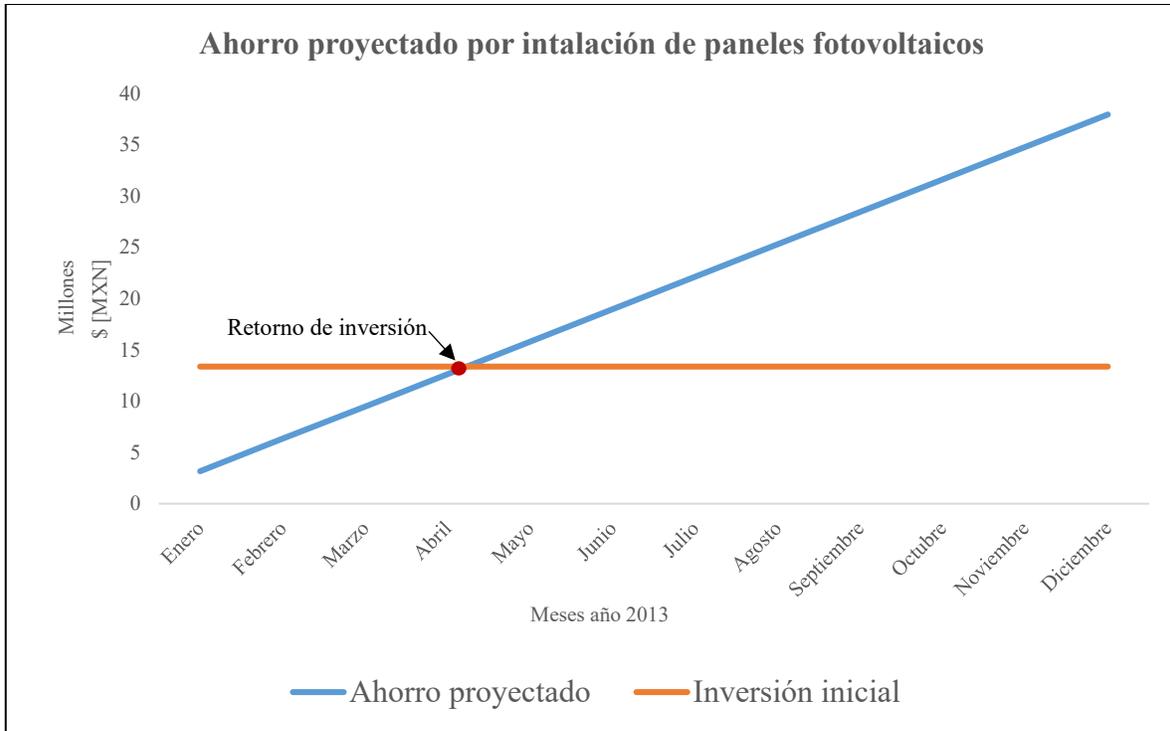


Figura 32. Ahorro proyectado por instalación de paneles fotovoltaicos para dar suministro a consumo total del Complejo Legaria.

En ese sentido, Complejo Legaria estaría ahorrando \$24,586,428 millones de pesos al instalar los paneles solares.

Sin embargo, considerando que el área disponible de Banco de México es de 6,059 m², solo pueden ser instalados 371 paneles fotovoltaicos los cuales brindarían una potencia de 119 kW, es decir 1,422 kWh/día o 519,356.17 kWh/año y considerando que el promedio de la luz solar en la Ciudad de México sea de 12 horas al día. En ese caso, los 371 paneles solo suplirían 11% de la demanda, obteniendo ahorros anuales de \$2,771,796 MXN. (Figura 33)

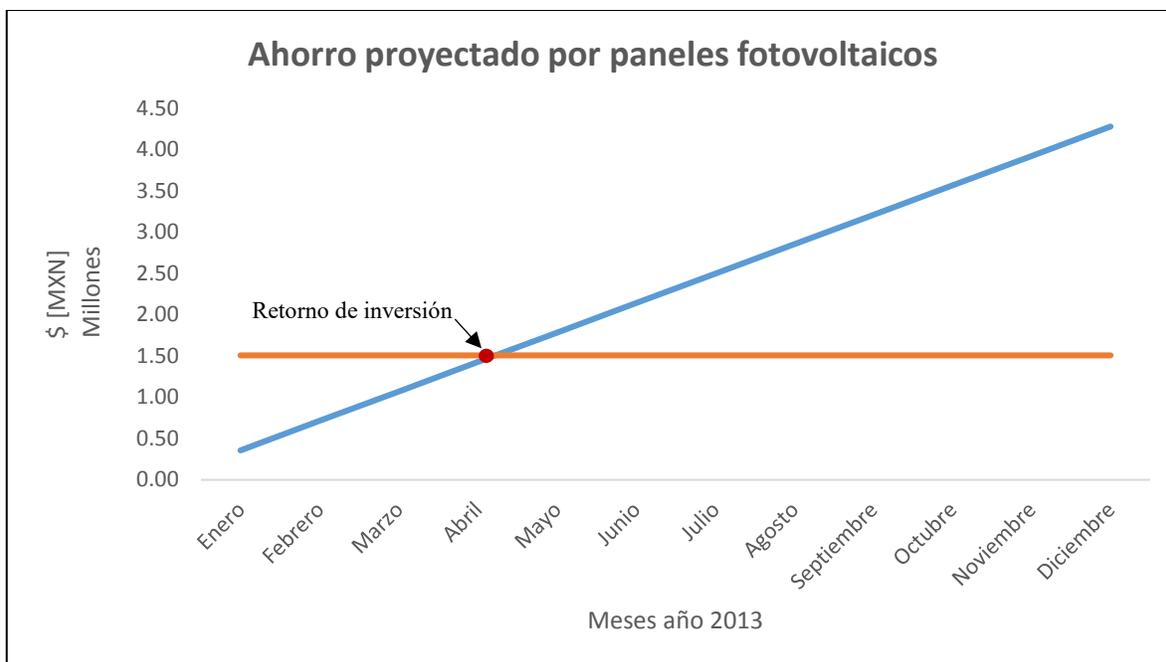


Figura 33. Ahorro proyectado por instalación de paneles fotovoltaicos para dar suministro al 11% del consumo.

En ese caso la inversión inicial sería de 1,507,698 pesos mexicanos, los cuales se amortizarían en el cuarto mes, considerando un costo energético de 356,625 pesos por mes.

7.5. Propuestas de mejora para el comedor del área de servicios auxiliares y de administración

El comedor del Complejo Legaria utiliza una caldera que funciona con gas natural y que da suministro energético a la cocina para la cocción de alimentos, en la Cédula de Operación Anual se presenta un consumo de 8934.37m³ para el año 2013. Si bien el gas natural es un combustible que no genera grandes emisiones de CO₂ en comparación con combustibles como diésel o gasolina, el uso exclusivo de este combustible en la caldera genera emisiones de CO₂ equivalentes que pueden ser evitadas si se reemplaza la caldera por otro tipo de tecnología.

Para analizar de manera más detallada los impactos ambientales del área del comedor, es necesario realizar una evaluación del consumo energético de los equipos (estufas, baños maría, extractores de gases, etc), así como la cantidad de comensales reales y la cantidad y calidad de alimentos, para de esta manera, proponer una reingeniería de toda el área que permita el aprovechamiento óptimo de los insumos (alimentos) y combustibles. Para dar respuesta a estas preguntas, actualmente el Banco de México y la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), se encuentran

desarrollando un proyecto cuyos resultados permitirán proponer estrategias dirigidas al mejoramiento de los impactos ambientales generados por esta área.

Para evitar las emisiones de CO₂ equivalentes por consumo de gas natural proveniente de la caldera, se propone el cambio de tecnología de los equipos de la cocina que funcionan con dicho combustible a equipos eléctricos o combinados (gas natural y eléctrico) (Tabla 35). El propósito, es reducir las emisiones de CO₂ eq y hacer un aprovechamiento eficiente del gas natural. En ese sentido se evalúan las emisiones de CO₂ eq con la tecnología actual y en tres escenarios propuestos:

Tabla 35. Escenarios propuestos para el cambio de tecnología en el área de cocina de Complejo Legaria.

Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Solo caldera (escenario actual)	2 Estufas y 1 baño maría eléctrico	2 Estufas con gas natural y 1 baño maría eléctrico	2 Estufas, 1 baño maría eléctrico con paneles solares

En el escenario 1 que es el actual de Complejo Legaria, el gas natural suministrado al año por la caldera industrial es de 8,934.37 m³ que da suministro energético para la cocina y los cuartos de humedad del área de impresión de billetes. La cocina brinda servicio a 272 empleados administrativos y 563 operativos de la planta de fabricación y distribución de billete es decir 835 personas en total.

Respecto al Escenario 2, se propone 2 estufas y 1 baño maría, ambos eléctricos que según el proveedor Coriat, pueden cocinar alimentos para un promedio de 900 personas. Las fichas técnicas de los equipos pueden ser vistas en www.servinox.com.mx. Las referencias técnicas de los equipos eléctricos y a gas natural son:

- Estufa de gas: Múltiple Master a gas
- Baño Maria: RTC 5H
- Estufa eléctrica: EC-6-H-GRILL-3

Teniendo en cuenta una operación diaria de 8 horas, el consumo por día de ambos dispositivos es el que se muestra en la Tabla 36.

Tabla 36. Consumo eléctrico de los equipos propuestos en el escenario 2.

Equipo	número de equipos	Potencia [Kw]	horas de operación [h]	consumo [kWh/día]
Estufa eléctrica	2	15	8	240
Baño María	1	1.8	8	14.4
Total				254.4

Asimismo, para el escenario tres se proponen dos estufas a gas y un equipo tipo baño maría (el mismo propuesto en el escenario 2).

En el escenario 4, se propone el reemplazo de la caldera por equipos eléctricos que sean abastecidos con paneles fotovoltaicos (Figura 34). Los equipos eléctricos son los mismos propuestos en el escenario 2. Por otro lado, se realiza el dimensionamiento de los equipos fotovoltaicos y se determina número de paneles requeridos y área que estos ocuparían



Figura 34. Paneles fotovoltaicos para suministro de los equipos eléctricos del área de comedor

El primer paso es determinar la potencia que tendría el panel fotovoltaico que dará suministro a las dos estufas y al baño maría eléctricos. Dicha potencia se determina siguiendo la siguiente fórmula:

$$A_r = 120 \times E_d / I_d$$

Donde,

A_r , Corresponde a la potencia para suministro (W)

E_d : Es el consumo de electricidad (kWh/día)

I_d : Irradiación de México (5 kWh/m²/día)

El resultado de la potencia del panel obtenido es de 61,056 W, si tenemos en cuenta un panel fotovoltaico que posea una potencia de 320 W, se necesitarían 191 paneles que requerirían un área de 20 m² para dar suministro eléctrico a los equipos eléctricos propuestos. La dimensión del panel es 1.95 m x 9.91 m.

De igual forma se establecen los consumos de electricidad y gas natural que tendrían los 4 escenarios y que se encuentran resumidos en la Tabla 37.

Tabla 37. Consumo eléctrico y de gas natural de los escenarios 1,2,3 y 4.

Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Caldera	Dos estufas eléctricas y un baño maría	Dos estufas a gas natural y un baño maría eléctrico	191 Paneles fotovoltaicos
8,934 m ³ GN/año	92,856 kWh/año	5,256 kWh/año y 5,737 m ³ GN/año	61.06 kW

Una vez que se tienen los consumos por tipo de combustible (eléctrico y gas natural), se establecen las emisiones de CO₂ equivalentes considerando los factores de emisión de la Tabla 38.

Tabla 38. Factores de emisión para la estimación de los kg de CO₂ eq por uso de combustibles y electricidad.

Factores de emisión (kg CO ₂ eq)	Combustible
0,58204	kWh electricidad (mix de México)
0,251	m ³ gas natural

Las emisiones de CO₂ equivalentes por escenario son las siguientes: (Tabla 39)

Tabla 39. Kg de CO₂ eq generados por los diferentes escenarios propuestos en el comedor

kg de CO ₂ eq/año generados por tecnología para los diferentes escenarios			
Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Caldera (actual)	Equipos eléctricos (estufa y baño maría)	Equipos a gas y eléctricos	Equipos eléctricos con panel
2,242	54,046	4,499	0

Los resultados obtenidos mostraron que el mejor escenario es el 4 en cuanto a generación de emisiones de CO₂ eq, mientras que el peor escenario es el 2 con 54.04 toneladas de CO₂ eq. Dado el mix eléctrico de México (90% a partir de combustibles fósiles), no conviene instalar equipos eléctricos si estos utilizan la energía eléctrica de la red de suministro externo. Por otro lado, el uso de equipos eléctricos cuya fuente de suministro sea a partir de energía solar, representa el mejor escenario ya que no genera emisiones de CO₂ eq en todo el año.

Se recomienda realizar un estudio más detallado, a manera de proyecto de tesis, en donde se analicen los requerimientos energéticos de las instalaciones de acuerdo con el número de comensales, así como varias alternativas de suministro energético que permitan generar una propuesta de reingeniería buscando beneficios tanto en el aspecto económico como en materia ambiental.

Capítulo 8

8. CONCLUSIONES

La metodología de ACV-O proporciona información muy detallada y muy amplia sobre los impactos ambientales de una organización, permitiendo con ello definir estrategias de gestión ambiental que incidan directamente en los procesos más contaminantes.

Gran parte de los impactos normalizados del Complejo Legaria suceden en las actividades corriente arriba (53%) y corriente abajo (27%), es decir que gran parte de la contaminación generada por la organización, ocurre por fuera de sus instalaciones, esto supone que se debe dar énfasis en el diseño de estrategias de mejora sobre los productos e insumos de la cadena de suministro y sobre las actividades de distribución y disposición final de los billetes.

Los impactos obtenidos por actividades mostraron que las actividades corriente arriba (up-stream) fueron las que más impactos generaron en 7 de las 11 categorías (ocupación de suelo agrícola, cambio climático, agotamiento de combustibles fósiles, eutrofización de agua dulce, agotamiento de minerales, eco toxicidad terrestre y agotamiento de agua) le siguieron las actividades corriente abajo (down-stream) con 3 categorías (toxicidad humana, reducción de la capa de ozono y formación de oxidantes fotoquímicos) y actividades directas (direct-activities) con 1 categoría (acidificación terrestre).

Los procesos de extracción de materias primas junto con la actividad de disposición final y distribución generaron los mayores impactos ambientales en todo el ciclo de vida organizacional de Complejo Legaria. Para el primer proceso, se obtuvieron impactos en 9 categorías, mientras que para las actividades de distribución y disposición final impactaron en 1 categoría respectivamente.

Las actividades agrícolas relacionadas con el cultivo de algodón para la fabricación de los billetes de \$20, \$100, \$200, \$500 y \$1000 presentan un impacto dominante en 9 de las 11 categorías evaluadas en el ciclo de vida organizacional con impactos que van del 25% para la categoría de toxicidad humana hasta el 86% en eco-toxicidad terrestre; gran parte de los impactos se encuentran relacionados con el uso de plaguicidas y fertilizantes en cultivos de algodón.

La mayor parte de los impactos se deben a la cadena de suministro de insumos al Complejo Legaria, se planea como parte de este proyecto, desarrollar una metodología que permita

realizar una evaluación de los insumos desde un enfoque de eficiencia ambiental, buscando integrar a la cadena aquellos productos y servicios con un menor impacto ambiental y de esta forma mejorar el desempeño ambiental del Complejo Legaria.

Los impactos ambientales sobre las actividades y módulos donde Complejo Legaria posee control y ejerce influencia reflejaron que las actividades de distribución, generaron los mayores impactos ambientales en 4 de las 11 categorías evaluadas (cambio climático, agotamiento de combustible fósil, reducción de la capa de ozono y acidificación terrestre), le siguieron el módulo de servicios auxiliares y de administración con 3 categorías (ocupación de suelo agrícola, eco toxicidad terrestre y agotamiento de agua) y por último la actividad de disposición final con dos categorías (toxicidad humana y formación de oxidantes fotoquímicos).

Los materiales que contribuyeron a los impactos ambientales en más de dos categorías fueron los residuos de papel los cuales impactaron en 9 categorías; el consumo de carne de res en 8 categorías y el consumo de energía eléctrica en 7 categorías. Determinar qué materiales se repiten en varias categorías es importante para dirigir todos los esfuerzos (económicos y de personal) hacia el diseño de estrategias encaminadas a la reducción de las cargas ambientales más significativas.

Las actividades de distribución de billete y el transporte de residuos peligrosos, generaron los mayores impactos en 8 categorías para el primer caso y 10 categorías para el segundo; estos impactos se encuentran asociados a las emisiones de contaminantes atmosféricos de la producción y uso de combustibles fósiles por parte de los vehículos y aeronaves que distribuyen el billete y transportan los residuos a tratamiento y relleno sanitario, en ese sentido, es importante evaluar la logística para distribuir los billetes a toda la República Mexicana, así como estrategias para adquirir productos o implementar tecnologías que no generen residuos peligrosos.

Es importante la incorporación de fuentes de energías alternativas como energía solar en las instalaciones del Complejo Legaria para reducir las emisiones de CO₂ equivalentes del consumo de energía, puesto que gran parte de los impactos por cambio climático y acidificación terrestre en las instalaciones de la organización se encuentran relacionadas el mix eléctrico mexicano el cual genera el 90% de la energía a partir de los combustibles fósiles de un 7% a partir de fuentes alternativas.

Una estrategia viable para la mitigación de las emisiones de GEI provenientes de las actividades del uso de energía, distribución y disposición final es el financiamiento por parte del Banco de México a proyectos sostenibles de reforestación o generación de energía alternativa (solar, eólica, térmica, mareomotriz) en el país y que vayan en línea con los Planes de Mitigación de las emisiones de GEI firmados por México y establecidos en las Acciones Apropriadas de Mitigación NAMAS y en los Mecanismos de Desarrollo Limpio MDL.

En concordancia con los resultados presentados en el Análisis de Ciclo de Vida Comparativo de Estrategias de Disposición Final de Billetes Mexicanos, en donde la fabricación de composta, para los billetes de papel de algodón, mostró un buen desempeño ambiental en todas las

categorías de impacto analizadas y con base a los resultados obtenidos en este ACV-O, se recomienda tomar en cuenta la implementación de un programa de aprovechamiento a través de la composta o generación de biogás a partir de los residuos de papel de algodón (maculatura de billete), papel de oficina, lodos del reactor biológico, residuos de alimentos y de jardinería que permitan la disminución de los impactos ambientales en las categorías de uso de suelo, cambio climático, agotamiento de combustibles fósiles, eutrofización de agua dulce, toxicidad humana, formación de oxidantes fotoquímicos, acidificación terrestre y agotamiento de agua.

De igual manera se reitera, el coprocesamiento como un tratamiento finalista ambientalmente eficiente para ambos tipos de billetes ya que tiene el menor impacto ambiental en ocho de las once categorías analizadas en el estudio de análisis de ciclo de vida de billetes mexicanos realizados por Lujan., C. 2015, y a pesar de que los resultados señalan mayor impacto en Cambio climático, Formación de foto-oxidantes y Acidificación; es importante tomar en cuenta que el aprovechamiento energético de billetes como combustible alternativo en hornos de cemento permitiría adicionalmente disminuir el uso de coque de petróleo, lo cual debe ser considerado como impactos ambientales evitados y mitigaría afectaciones en cambio climático, formación de foto-oxidantes y acidificación, debido a la reducción de combustibles fósiles usados y su refinación.

Este estudio es el primero que se realiza en México con la metodología de Análisis de Ciclo de Vida Organizacional y a través de éste se ha probado su aplicabilidad real en un país en desarrollo.

Recomendaciones

Es importante dar valores de importancia a los impactos obtenidos por los insumos que permitan seleccionar aquellos más relevantes y sobre los cuales se diseñen estrategias de mejora o mitigación.

Se recomienda un estudio técnico y económico detallado sobre el cambio de tecnología de combustible de Diésel a Gas Natural o GLP en los vehículos que transportan los billetes a toda la República Mexicana con miras a reducir las emisiones de GEI generadas por las actividades de distribución de billete.

De igual forma, se recomienda a Complejo Legaria realizar un estudio de eficiencia energética a las instalaciones, que permitan implementar estrategias y tecnologías de ahorro energético en puntos críticos dentro de la organización. Estas estrategias pueden ser enfocadas al cambio de luminarias, sensores de luz en pasillos con población flotante, instalación de paneles solares, reemplazo de calderas por equipos más eficientes, entre otros.

Como oportunidades detectadas en el desarrollo del presente estudio, se recomienda ampliar el análisis de ciclo de vida organizacional a instalaciones administrativas, bancos corresponsales y cajeros regionales que hacen parte del Banco de México.

BIBLIOGRAFÍA

085182453.pdf. (n.d.).

Aitor, P., Rodriguez, C., Citroth, A. (2014). Impact Assessment Methods in Life Cycle Assessment and Their Impact Categories. *Green Delta*, 1–23.

Alzate, A. (2005). Evaluación de desempeño ambiental e indicadores. *Centro Nacional de Producción Limpia*, 1–6.

Ambiente, S. de M. (2014). Infraestructura Para el Manejo de Residuos Sólidos.

Banco de Chile. (2014). Reporte de Sustentabilidad, 88. Retrieved from https://ww3.bancochile.cl/wps/wcm/connect/e529a68048d6b94e9df5ff3719430270/Reporte_BCH.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=e529a68048d6b94e9df5ff3719430270

Banco de la República. (2013). Informe de Sostenibilidad. Impacto Económico, Social y Ambiental. Retrieved from <http://www.banrep.gov.co/es/sostenibilidad-2013>

Bank of Ireland. (2014). Central Bank Annual Report. Retrieved from http://www.cbsl.gov.lk/pics_n_docs/10_pub/_docs/efr/annual_report/AR2013/English/3_KEI.pdf

Banque de France. (2014). Banque de France's Annual Report, 78–91. Retrieved from https://www.banque-france.fr/fileadmin/user_upload/banque_de_france/publications/rapport-annuel-2014/AR2014_Web_Avec-signets-metadonnees.pdf

Bouman, B. (2011). Water-efficient management strategies in rice production. *International Rice Research Institute*, (February), 7.

CONAGUA. (2014). *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación*. Retrieved from http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Inventario_Nacional_Plantas1.pdf

De Schryver, A. M., Brakkee, K. W., Goedkoop, M. J., & Huijbregts, M. a J. (2009). Characterization Factors for Global Warming in life Cycle Assessment Based on Damages to Humans and Ecosystems. *Environmental Science and Technology*, 43(6), 1689–1695. <http://doi.org/10.1021/es800456m>

Dewaele, J., Pant, R., Schowanek, D., French, F., Development, M., Salducci, N., & Osset, P. (2006). Comparative Life Cycle Assessment (LCA) of Ariel “ Actif à froid ” (2006), a laundry detergent that allows to wash at colder wash temperatures , with previous Ariel laundry detergents (1998 , 2001). Analyse du Cycle de Vie (ACV) comparative d ' Ar, (April).

Dias, A. C., Arroja, L., & Capela, I. (2007). LCA Case Studies Life Cycle Assessment of Printing and Writing Paper Produced in Portugal. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 12(7), 521–528.

DTTL- Deloitte Touche Tohmatsu Limited. (2014). Desarrollo del gas natural vehicular en España : análisis de beneficios y potencial contribución a la economía nacional. Retrieved from <http://gasnam.es/wp-content/uploads/2015/03/2015-03-03-Estudio-GNV-Documento->

Completo.pdf

- Eberle, U., & Fels, J. (2016). Environmental Impacts of German Food Consumption and Food Losses. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(5), 759–772. <http://doi.org/10.1007/s11367-015-0983-7>
- Elgendy, E., Hassanain, M., & Fatouh, M. (2014). Assessment of R-438A as a retrofit refrigerant for R-22 in direct expansion water chiller ne de conversion Evaluation du R-438A comme frigorig e diate du R-22 dans un refroidisseur d ' eau a d e tente imm e directe. *International Journal of Refrigeration*, 50, 127–136. <http://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2014.07.017>
- Fahey, D. W. (2002). *Twenty Questions and Answers About the Ozone Layer*. Retrieved from [https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ozone_2014/documents/2014 Twenty Questions_Final.pdf](https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ozone_2014/documents/2014%20Twenty%20Questions_Final.pdf)
- Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., Schryver, A. De, Struijs, J., & Zelm, R. Van. (2009). *ReCiPe 2008*. Retrieved from http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/publications/recipe_characterisation.pdf
- Gustavsson, J., Cedeberg, C., Sonesson, U. (2011). *Global Food Losses and Food Waste* (Food and A). Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e.pdf>
- Hoekstra, A. Y. (2012). The Hidden Water Resource use Behind Meat and Dairy, 2(2), 2008–2013. Retrieved from <http://waterfootprint.org/media/downloads/Hoekstra-2012-Water-Meat-Dairy.pdf>
- Huijbregts, Mark A,J., et al. (2005). Human-Toxicological Effect and Damage Factors of Carcinogenic and Noncarcinogenic Chemicals for Life Cycle Impact Assessment. *SETAC*, 1(3), 181–244.
- ISO. (1999). ISO 14031. Gestión Ambiental-Evaluación del Desempeño Ambiental-Directrices.
- ISO. (2004). ISO 14040-International Assessment Principles and Framework.
- ISO. (2014). ISO/TS 14072:2014 (E) Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines for organizational life cycle assessment.
- Koellner, T., & Scholz, R. W. (2007). Assessment of Land Use Impacts on the Natural Environment. Part 1: An Analytical Framework for Pure Land Occupation and Land Use Change. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 12(1), 16–23. <http://doi.org/10.1065/lca2006.12.292.1>
- López, V., Daza, G. (2013). *Alternativas De Gestión De Lodos Papeleros En La Industria De Papel Tisú Y Kraft. PhD Proposal*. Retrieved from <http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/12462/1/GarnicaDazaCatalina2013.pdf>
- Lujan, C. (2015). Analisis de Ciclo de Vida de Billetes Mexicanos, 1:153.
- Makower, B. J. (2014). *State of Green Business 2014*. Retrieved from <http://info.greenbiz.com/rs/greenbizgroup/images/state-green-business-2014.pdf>
- McMichael, A.J., Lendrum, C., Corvalán, C.F., Ebi, K.L., Githeko, A.K., Scheraga, J.D & Woodward, A. (2003). *Climate Change and Human Health Editors. World Health Organization* (Vol. 1). Retrieved from <http://www.who.int/globalchange/publications/climchange.pdf>
- Meinshausen, M. (2005). *Emission & Concentration Implications of Long-Term Climate Targets*.

Swiss Federal Institute of Technology Zurich.

- Mundo-hernández, J., Celis, B. De, Hernández-álvarez, J., & Celis-carrillo, B. De. (2014). An Overview of Solar Photovoltaic Energy in Mexico and Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 639–649. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.029>
- Murray, J.L., & Lopez, A. D. (1996). *The Global Burden of Disease "A Comprehensive Assessment of Mortality and Disability from Diseases, Injuries, and Risk Factors in 1990 and Projected to 2020. Harvard School of Public Health on Behalf of the World Health Organization and the World Bank* (Vol. 1). Retrieved from http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/41864/1/0965546608_eng.pdf
- Röös, E., Sundberg, C., Tidåker, P., Strid, I., & Hansson, P. (2013). Can Carbon Footprint Serve as an Indicator of the Environmental Impact of Meat Production? *Ecological Indicators*, 24, 573–581. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.08.004>
- Schlegel, B., Gayoso, J., Guerra, J. (2001). Medición de la Capacidad de Captura de Carbono en Bosques de Chile y Promoción en el Mercado Mundial. Universidad Austral de Chile.
- Secretaria del Medio Ambiente. (2014). *Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014 - 2020*. Retrieved from <http://centromariomolina.org/programa-de-accion-climatica-de-la-ciudad-de-mexico-2014-2020/>
- SEMARNAT. (2013). Inventario de Residuos Sólidos de la Ciudad de México. Secretaria de Medio Ambiente. Retrieved from <http://www.sedema.cdmx.gob.mx/sedema/index.php/temas-ambientales/programas-generales/residuos-solidos>
- Smetana, S., Mathys, A., Knoch, A., & Heinz, V. (2015). Meat Alternatives : Life Cycle Assessment of Most Known Meat Substitutes. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 2050, 1254–1267. <http://doi.org/10.1007/s11367-015-0931-6>
- United Nations Environment Programme. (1999). *The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer*.
- Zhang, Q. (2007). Strategies for Developing Green Super Rice, 104(42). Retrieved from <http://www.pnas.org/content/104/42/16402.short>
- Zuev, V. V, Zueva, N. E., Savelieva, E. S., & Gerasimov, V. V. (2015). The Antarctic Ozone Depletion Caused by Erebus Volcano Gas Emissions. *Atmospheric Environment*, 122, 393–399. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.10.005>