



c i d e t e q

CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
EN ELECTROQUÍMICA, S.C.

ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EN LA PRODUCCIÓN DE
BIOETANOL: FASE I Y II

Tesis

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

*Maestro en Ciencia y Tecnología
en la Especialidad de Ingeniería Ambiental*

PRESENTA

I. A. Alma Rosa Díaz Hervert



Santiago de Querétaro, Qro., México, Mayo del 2018.



CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Dra. Erika Bustos Bustos
Coordinadora de Estudios de Posgrado
PICYT – CIDETEQ
Querétaro

Los abajo firmantes, miembros del Jurado de Examen de la alumna ALMA ROSA DÍAZ HERVERT una vez leída y revisada la Tesis: "Análisis de ciclo de vida en la producción de bioetanol: Fase I y II", aceptamos que la referida tesis revisada y corregida sea presentada por la alumna para aspirar al grado de Maestra en Ciencia y Tecnología con la opción terminal en INGENIERIA AMBIENTAL durante el Examen de Grado correspondiente.

Y para que así conste firmó la presente a los 9 días del mes de abril del año dos mil dieciocho.


Dra. Julieta Torres González
Presidente


Dr. Fabricio Espejel Ayala
Secretario


Dra. Irma Robles Gutiérrez
Vocal



CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Dra. Erika Bustos Bustos
Subdirectora de Posgrado
PICYT – CIDETEQ
Querétaro

Los abajo firmantes, miembros del Comité Tutorial de la alumna ALMA ROSA DÍAZ HERVET una vez leída y revisada la Tesis: “Análisis de ciclo de vida en la producción de bioetanol: Fase I y II”, aceptamos que la referida tesis revisada y corregida sea presentada por la alumna para aspirar al grado de Maestra en Ciencia y Tecnología con la opción terminal en INGENIERIA AMBIENTAL durante el Examen de Grado correspondiente.

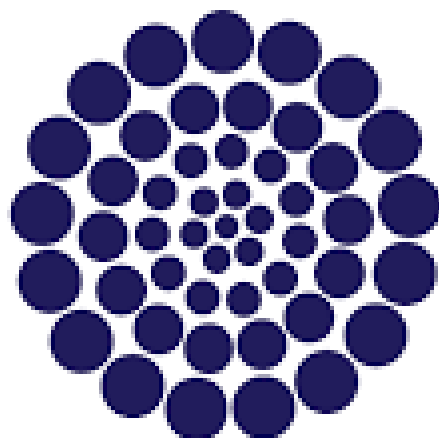
Y para que así conste firmó la presente a los 9 días del mes de abril del año dos mil dieciocho.

Dra. María Yolanda Reyes Vidal

Dr. Fabricio Espejel Ayala

Dr. Jorge Noel Gracida Rodríguez

Dr. Jorge Antonio Herrera Cárdenas



Este trabajo fue realizando en el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica S. C. (CIDETEQ), bajo la dirección de la Dra. María Yolanda Reyes Vidal.

AGRADECIMIENTOS

**Al proyecto No. 246052 del Fondo CONACYT-
SENER-Sustentabilidad Energética.**

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. María Yolanda Reyes Vidal, directora de esta tesis, por la orientación, por los conocimientos transmitidos y por todo el apoyo brindado a lo largo de este tiempo.

A los Doctores parte de mi comité tutorial y jurado, les agradezco el apoyo y el tiempo empleado para que este proyecto tuviera resultados.

Al Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica S.C. por la oportunidad de realizar mi maestría.

Al CONACYT por la beca otorgada para la realización de este trabajo de tesis.

A mis padres, los pilares de mi vida y ejemplos de grandeza, que aún en la distancia saben brindarme todo el apoyo y cariño.

A Jaime por ser parte fundamental de mi vida, por todo el amor recibido, por la paciencia y los consejos brindados a lo largo de esta etapa y sobre todo por el apoyo incondicional cuando parecía que me iba a rendir. A mi hija Renata por darme las fuerzas necesarias para terminar esta etapa y por motivarme a ser mejor cada día.

Resumen

La perspectiva del uso de los combustibles fósiles, la preocupación sobre la seguridad energética y el calentamiento global son los principales impulsores en el desarrollo de los biocombustibles. El etanol derivado de biomasa tiene potencial de disminuir las emisiones de bióxido de carbono, así como disminuir la dependencia del uso de combustibles fósiles.

Para gestionar los impactos ambientales se han ido incorporando al trabajo de los investigadores los términos: Ciclo de Vida (periodo que considera todas las etapas de existencia de un producto o servicio) y Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Ésta última, representa una herramienta metodológica que se usa para evaluar el impacto potencial sobre el ambiente de un ecosistema mediante la cuantificación del uso de recursos y emisiones ambientales asociados con el sistema que se está evaluando. En la actualidad, el ACV se utiliza para evaluar una amplia gama de productos y actividades, en sistemas de energía, producción de alimentos y en alternativas de transporte.

En este trabajo se planteó un análisis de ciclo de vida durante el proceso de producción de bioetanol a partir de residuos agroindustriales. Durante el desarrollo del proyecto se trabajó en las primeras dos fases definidas en las normas ISO 14040 e ISO 14044. Se inició con el planteamiento del escenario y delimitación el proceso bajo estudio, posteriormente se realizó una recolección e investigación de información y finalmente se obtuvieron los cálculos de los datos que integran el inventario. Se logró integrar una base de datos completamente regional con lo que se plasmó una imagen real del proceso estudiado.

Los datos obtenidos en el inventario de ciclo de vida se evaluaron en la versión 1.6.3 del programa OpenLCA, en su versión libre, teniendo como resultado que el proceso unitario de destilación fraccionada fue la etapa crítica del proceso, ya que representa una contribución del 50% a las emisiones estimadas en este estudio.

Abstract

The use of fossil fuels, the concern over energy security and global warming are the main drivers in the development of biofuels. Ethanol obtained from biomass has the potential to reduce carbon dioxide emissions as well as reduce dependence on the use of fossil fuels.

In the manage environmental impacts, the terms Life Cycle (period that considers all stages of the existence of a product or service) and Life Cycle Analysis (LCA) have been incorporated into research's projects. The last one term represents a methodological tool applied to assess the potential impact on the environment of an ecosystem by quantifying the use of resources and environmental emissions associated with the system evaluated. Currently, LCA is an important methodology to evaluate a wide range of products and activities, in energy systems, food production and transport alternatives.

In this project, a life cycle analysis was proposed about bioethanol production process using agroindustrial waste. During the development of the project, the first two phases were established according to the ISO 14040 and ISO 14044 standards. The process under study initiated with the setting of the scenario and delimitation. Subsequently a collection and investigation of information was carried out. Finally, the calculations of the data that make up the inventory were estimated. It was possible to integrate a completely database regional with which a real image of the process studied was captured.

The data obtained in the life cycle inventory were evaluated in a free version (1.6.3) of the OpenLCA program. Results indicate that fractional distillation, a process unit, was the critical stage of the process. That unit represents 50% of contribution to the emissions estimated in this study.

ÍNDICE

Resumen	VII
Abstract	VIII
1 INTRODUCCIÓN	1
2 MARCO TEÓRICO	4
2.1 Sustentabilidad ambiental	4
2.1.1 Definición	4
2.1.2 Análisis o estudios	5
2.2 Análisis de Ciclo de Vida	6
2.2.1 Definición	6
2.2.2 Historia e importancia	9
2.2.3 Fases del ACV	11
2.2.3.1 Fase 1	11
2.2.3.1.1 <i>Sistema de producto, funciones y unidad funcional</i>	12
2.2.3.1.2 <i>Límites del sistema</i>	14
2.2.3.1.3 <i>Tipo de impacto a evaluar</i>	15
2.2.3.1.4 <i>Tipos y fuente de los datos</i>	15

2.2.3.2	Fase 2.....	15
2.2.3.3	Fase 3.....	20
2.2.3.3.1	<i>Software</i>	21
2.2.3.4	Fase 4.....	23
2.2.4	Análisis de ciclo de vida en biocombustibles.....	24
3	JUSTIFICACIÓN	29
4	HIPÓTESIS	30
5	OBJETIVOS	30
5.1	Objetivo General	30
5.2	Objetivos Específicos	30
6	METODOLOGÍA	31
6.1	Caso de estudio	31
6.2	Fase 1 del ACV	32
6.2.1	Objetivo	32
6.2.2	Alcance	33
6.2.2.1	Sistema de producto, función y unidad funcional.....	33
6.2.2.2	Límites del sistema.....	34
6.2.2.3	Tipo de impacto a evaluar	37

6.2.2.3.1	Cambio climático	38
6.2.2.3.2	Agotamiento de la capa de ozono	40
6.2.2.3.3	Formación de oxidantes fotoquímicos	41
6.2.2.3.4	Acidificación terrestre.....	41
6.2.2.3.5	Ecotoxicidad terrestre	42
6.2.2.3.6	Agotamiento de combustibles fósiles	42
6.2.2.4	Tipo y fuente de los datos	43
6.3	Fase 2 del ACV.....	43
6.3.1	Metodología para desarrollar los inventarios	43
6.3.2	Generación de datos de entrada.....	45
6.3.2.1	Subsistema I	45
6.3.2.2	Subsistema II.....	47
6.3.2.3	Subsistema III.....	48
7	RESULTADOS.....	49
7.1	TABLA DE INVENTARIO DE CICLO DE VIDA (FASE ICV).....	49
7.2	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA FASE ICV.....	57
7.3	ANÁLISIS EN VERSIÓN DEMO DE OPENLCA.....	60
8	CONCLUSIONES	63

9	RECOMENDACIONES	64
10	BIBLIOGRAFÍA	65
11	ANEXOS	74

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2-1 Etapas del ciclo de vida de un producto, Fuente: modificada de: https://www.ecointeligencia.com/2016/05/acv-marco-normativo/</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2-2 Etapas de un ACV. Fuente: modificada de ISO 14040:2006.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 2-3 Elementos de la fase EICV. Fuente: modificada de: Norma ISO 14040:2006..</i>	<i>21</i>
<i>Figura 2-4 Marco de referencia de un ACV. Fuente: modificada de: Norma ISO 14044:2006</i>	<i>24</i>
<i>Figura 6-1 Límites del sistema para el sistema de producto</i>	<i>35</i>
<i>Figura 7-1 Pasos para la alimentación de datos en OpenLCA</i>	<i>61</i>
<i>Figura 7-2 Resultados OpenLCA</i>	<i>62</i>

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2.1 Unidades Funcionales definidas para distintos ACV</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 2.2.2. Ventajas y limitaciones de métodos de ICV (Islam, 2006).....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 2.3 Bases de datos incorporadas al software SimaPro.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 2.4 Bases de datos incorporadas al software GaBi</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 2.5 Principales softwares utilizados en ACV</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 2.6 Análisis de ciclo de vida en la producción de biocombustibles.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 6.1 Categorías de impacto para el ACV</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 6.2 Potenciales de Calentamiento Global relacionados con el dióxido de carbono (IPCC, 2007)</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 6.3 Grupos agotadores de ozono</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 6.4 Flujos de referencia</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 6.5 Datos reportados en DATAGEN Querétaro 2011 [47]</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 6.6 Datos reportados en inventario nacional de GEI 2012 [48]</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 6.7 Porcentajes de ahorro en emisiones respecto a la gasolina convencional.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 7.1 Resumen de inventarios de producción de azúcar.....</i>	<i>50</i>

<i>Tabla 7.2 Mix energético en México [50]</i>	52
<i>Tabla 7.3 Resumen de inventarios durante la producción de bioetanol a partir de residuos de azúcar</i>	53
<i>Tabla 7.4 Resumen de inventarios durante la combustión de la mezcla de bioetanol/gasolina</i>	56
<i>Tabla 7.5 Estructura de las salidas del ICV</i>	58
<i>Tabla 7.6 Contribución en porcentaje de ICV</i>	59
<i>Tabla 7.7 Clasificación de las entradas de ICV</i>	60

1 INTRODUCCIÓN

El incremento en el consumo de combustibles fósiles, la alta dependencia energética en el mercado exterior y el incremento en los precios del crudo motivan a los diversos sectores económicos a evaluar fuentes de energía alternativas [1]. Según el INEGI, los países latinoamericanos con mayor consumo de gasolina fueron Brasil y México, alcanzando consumos promedios de entre 22 y 31 millones de toneladas de gasolina, en el periodo de 2005 a 2013. El principal problema derivado del uso de estos combustibles es la combustión, ya que genera contaminantes distribuidos en todos los compartimentos ambientales, aunque el impacto más significativo sea la contaminación atmosférica.

El sector energético es uno de los sectores con mayor consumo de combustibles fósiles. Tan solo, en 2016, las emisiones de bióxido de carbono reportadas para los sectores, de electricidad y producción de calor, industrias manufactureras y de construcción, así como para la de transporte, son de 150.4, 65.8 y 150.5 mil toneladas, respectivamente. El sector del transporte también es una de las fuentes más importantes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) [2]. Existe un volumen excesivo de GEI en el sistema atmosférico y un amplio consenso de que esto tendrá graves consecuencias en términos de cambio climático [3]. Estas emisiones ponen en peligro la salud humana, los cultivos agrícolas, las especies forestales, diversos ecosistemas y el medio ambiente en general, ya que favorecen el efecto invernadero y, por lo tanto, contribuyen al cambio climático mundial [4].

En la actualidad, existe un consenso general de que el cambio climático es causado en gran parte por las actividades antropogénicas [5]. Según esta directriz, se tiene un incremento en el desarrollo e implementación de metodologías que evalúen los efectos de las actividades productivas sobre el entorno natural debido al aumento de la conciencia por el cuidado del medio ambiente y la asociación de los impactos ambientales con productos, tanto en su manufactura como en su consumo [6, 7]. Con este propósito, el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) se está aplicando para evaluar los impactos ambientales asociados con la obtención de un producto o servicio, y para identificar las oportunidades que permitan lograr ventajas

ambientales durante tal proceso [8]. Entre las principales aportaciones del ACV es que proporciona información sobre el comportamiento ambiental total de un proceso y que puede ser utilizado para la toma de decisiones en gestión ambiental, elaboración y seguimiento de políticas públicas, así como la identificación de etapas críticas del proceso [9].

Así, el ACV corresponde con una herramienta de gestión ambiental que permite analizar de forma objetiva, metódica, sistemática y científica, el impacto ambiental originado por un proceso, producto o servicio durante su ciclo de vida completo. Mediante esta herramienta se analiza el fenómeno desde la extracción y procesado de materias primas, transporte, producción, distribución, uso y reciclado o disposición final (de la cuna a la tumba) [10]. La norma ISO 14040 (Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y Lineamientos) define al ACV como una técnica que identifica los aspectos ambientales y los impactos potenciales asociados a un producto o servicio a lo largo de todo su ciclo de vida. Esta norma define cuatro etapas o fases que conforman un ACV.

En la Etapa 1, definición de objetivo y alcance, se exponen los motivos para realizar el estudio y la aplicación prevista. El alcance debe estar bien definido de manera que permita asegurar que la amplitud, profundidad y nivel de detalle del estudio sean suficientes para alcanzar el objetivo previsto. Dentro del alcance debe definirse el sistema de producto a estudiar, la función que cumple el sistema, la unidad funcional (UF) y los límites del sistema. La UF cuantifica la función identificada y proporciona la referencia a la que se relacionan las entradas y salidas. La definición de la UF es importante ya que esta referencia asegura que los resultados del ACV reflejen lo que sucede en el sistema que se está estudiando, permitiendo que los resultados sean evaluados sobre una base común [2]. Debido a su naturaleza global, un ACV puede resultar muy extenso, por esta razón los límites del sistema deben estar muy bien identificados. La definición de estos límites es un proceso crítico para la correcta ejecución de la metodología, aunado a que pueden llevar a la inclusión y exclusión de procesos específicos [11, 12].

La Etapa 2, Análisis de Inventario de Ciclo de Vida (ICV), es un proceso de cuantificación de todos los flujos que entran y salen del sistema para establecer las tablas de inventario. En

la implementación de un ACV, el paso que mayor esfuerzo requiere es la recolección y estimación de datos relativos a cada proceso unitario dentro del sistema [7]. Esto se debe a que los objetivos pueden cumplirse desarrollando las etapas de ICV y su respectiva interpretación. Esta acción es posible, siempre y cuando la información recabada en los inventarios sea suficiente para realizar conclusiones y recomendaciones [7].

En la Etapa 3, Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida (EICV), se proporciona información para evaluar los resultados obtenidos en la fase de ICV, con el fin de mejorar la comprensión ambiental del sistema. Por último en la Fase 4 (Etapa 4), llamada Interpretación, se resumen y discuten los resultados del ICV, EICV o ambos, siendo la base para conclusiones, recomendaciones y toma de decisiones de acuerdo al objetivo y alcance.

El concepto de ACV es un enfoque aplicado a un número creciente de sistemas de generación de energía convencionales y renovables [13]. Así, para la comunidad científica existe un consenso de que el ACV es uno de los métodos más apropiados para la evaluación de impactos ambientales asociados a la producción de biocombustibles [13-15]. Los ACV en biocombustibles enfatizan el estudio de la materia prima utilizada en su producción. Sin embargo, la mayoría de los estudios de producción de biocombustibles de primera generación se realizan a partir de cultivos alimenticios, por lo que pocos estudios abordan el procesamiento de desechos como materia prima para su obtención.

Entonces, en este trabajo se estudiaron las primeras dos etapas del ACV para la producción de etanol usando residuos agroindustriales como materia prima y glicerol de desecho de la producción de biodiesel. Se estableció como UF la producción de 1.25 litros de bioetanol y a partir de este flujo de referencia se midieron y calcularon los datos que integran las tablas del análisis de inventario.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Sustentabilidad ambiental

2.1.1 Definición

La creciente demanda de insumos para satisfacer las diversas necesidades de la población genera problemas ambientales derivados de la sobreexplotación de recursos naturales. El mal manejo de los recursos aunado a las endebles políticas ambientales produce prácticas poco sustentables, que se ven reflejadas en un incremento en las emisiones atmosféricas, erosión del suelo, pérdida de la cubierta forestal y contaminación de las fuentes de abastecimiento de agua. Estas acciones han generado importantes eventos como la pérdida de biodiversidad, aparición de nuevas enfermedades, escasez de alimentos y calentamiento global. Tan solo como ejemplo, el calentamiento global puede estar relacionado con el aumento en la frecuencia e intensidad de las sequías en este siglo [16].

El progreso mundial hacia comunidades que no tengan problemas de alimentación, podría ser interrumpido por el cambio climático. La disponibilidad de los alimentos podría ser gravemente afectados debido a un patrón global sólido y coherente de los impactos del cambio climático sobre la productividad de los cultivos [17]. La obtención de formas de bioenergía ofrece un potencial significativo para la mitigación del cambio climático, pero también conlleva riesgos considerables [18], debido a que estos sistemas influyen directamente en el clima local y global a través de emisiones de GEI de combustibles fósiles asociados a la producción, cosecha, transporte y conversión de biomasa a fuentes secundarias de energía [19]. Por esta razón es indispensable hacer un análisis exhaustivo de la sustentabilidad del uso de biocombustibles.

El Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 define a la sustentabilidad ambiental como la administración eficiente y racional de los recursos naturales, de manera tal que sea posible

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Esta página fue eliminada debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 Fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

10 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Aelterman, P., Versichele, M., Marzorati, M., Boon, N., Verstraete W. (2008) Loading rate and external resistance control the electricity generation of microbial fuel cells with different three-dimensional anodes. *Bioresource Technology*, 99(18), pp. 8895-8902.
- [2] Serna, F., Barrera, L., Montiel H. (2011) Impacto social y económico en el uso de biocombustibles. *Journal of Technology Management & Innovation*, 6(1), pp. 100-114.
- [3] Treut Le, H., Somerville, U., Cubash, Y., Ding, C., Mauritzen, A., Mokssit, T., Peterson, P. (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.*
- [4] Afroz, R., Hassan, M., Ibrahim, N. (2003) Review of air pollution and health impacts in Malaysia. *Environmental Research*, 92(2), pp. 71-77.
- [5] Morales, M., Quintero, J., Conejeros, R., Aroca, G. (2015) Life cycle assessment of lignocellulosic bioethanol: Environmental impacts and energy balance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, pp. 1349-1361.
- [6] International Organization for Standardization (2006) Norma ISO 14040, Environmental management life cycle assessment principles and frameworks.
- [7] International Organization for Standardization (2006) Norma ISO 14044, Environmental management life cycle assessment requirements and guidelines.
- [8] Gonzalez-Garcia, S., Gasol, C., Gabarrell, X., Rieradevall, J., Moreira M. T. (2009) Environmental aspects of ethanol-based fuels from *Brassica carinata*: a case study of second-generation ethanol. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, pp. 2613-2620.

- [9] Adesanya, V., Cadena, E., Scott, A., Smith, G. (2014) Life cycle assessment on microalgal biodiesel production using a hybrid cultivation system. *Bioresource Technology*, 163, pp. 343-355.
- [10] Haya, E. (2016) Análisis del ciclo de vida, Master en Ingeniería y Gestión Medioambiental, Libro de Cátedra. Escuela de Organización Industrial. Extraído de: <https://www.eoi.es/es/file/66611/download?token=BTXaL249>.
- [11] Pehnt, A. (2016) Dynamic life cycle assessment (LCA) of renewable energy technologies. *Renewable Energy*, 31, pp. 55-71.
- [12] Stichnothe, H., Azapagic, A. (2009) Bioethanol from waste: Life cycle estimation of greenhouse gas saving potencial. *Resources, Conservation and Recycling*, 53, pp. 624-630.
- [13] Singh, A., Pant, D., Korres, N., Nizami, E., Prasad, P., Murphy, J. (2010) Key issues in life cycle assessment of ethanol production from lignocellulosic biomass: Challenges and perspectives. *Bioresource Technology*, 101, pp. 5003-5012.
- [14] Consoli, F., Allen, I., Boustead, J., Fava, W., Franklin, A., Jensen de Oude, A., Parrish, R., Perriman, D. (1993) Guidelines for Life-Cycle-Assessment: Acode of Practice. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), 31 March- 3 April, 1993.
- [15] Cherubini, F., Bird, N., Cowie, A., Jungmeier, G., Schlamadinger, B., Woess-Gallasch, S. (2009) Energy- and greenhouse gas-based LCA of biofuel and bioenergy systems: key issues, ranges and recommendations. *Resources, Conservation and Recycling*, 53 (8), pp. 434-447.
- [16] Cook, B., Smerdon, R., Seager, R., Coats, D., (2014) Global warming and 21st century drying. *Climate Dynamics*, 43(9-10), pp. 2607-2627.
- [17] Wheeler, T., Von Braun, J. (2013) Climate change impacts on global food security. *Science*, 341(6145), pp. 508-513.

- [18] Creutzig, F., Ravindranath, H., Berndes, G., Bolwig, S., Bright, R., Cherubini, F., Fargione, J. (2015) Bioenergy and climate change mitigation: an assessment. *Gcb Bioenergy*, 7(5), pp. 916-944.
- [19] Von Blottnitz, H., Curran, M. (2007) A review of assessments conducted on bio-ethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life cycle perspective. *Journal of Cleaner Production*, 15 (7), pp. 607-619.
- [20] Cherubini, F., Peters, G., Berntsen, T., Strømman, A., Hertwich E. (2011) CO₂ emissions from biomass combustion for bioenergy: atmospheric decay and contribution to global warming. *Gcb Bioenergy*, 3(5), pp. 413-426.
- [21] Sanes Orrego, A. (2012) El análisis de ciclo de vida en el desarrollo sostenible: propuesta metodológica para la evaluación de la sostenibilidad de sistemas productivos. Universidad Nacional de Colombia.
- [22] Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente e industria PNUMA/IMA (2012). Extraído de: <http://www.pnuma.org/industria/publicaciones.php>
- [23] Pérez Cruz, J. (2005) Medio ambiente, globalización, mercado y desarrollo humano. *Revista de la Facultad de Economía de BUAP*, 28, pp. 15-18
- [24] Massolo, L. (2015) Introducción a las herramientas de gestión ambiental, libro de cátedra. Universidad Nacional de la Plata, Facultad de Ciencias Exactas, pp. 11-20.
- [25] Saic A. (2006) Life cycle assessment: principles and practice. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, pp. 525-537.
- [26] Gnansounou, E., Villegas, A., Panichelli, L. (2009) Life cycle assessment of biofuels: Energy and greenhouse gas balances. *Bioresource Technology*, 100, pp. 4919-4930.

- [27] González-García, S., Iribarren, D., Susmozas, A., Dufour, J., Murphy, R. (2012) Life cycle assessment of two alternative bioenergy systems involving *Salix* spp. Biomass: Bioethanol production and power generation. *Applied Energy*, 95, pp. 111-122.
- [28] Mandade, P., Bakshi, R., Yadav, D. (2015) Ethanol from Indian agro-industrial lignocellulosic biomass- a life cycle evaluation of energy, greenhouse gases, land and water. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 20, pp. 1649-1658.
- [29] Franklin Hunt, R., William, P. (1996) LCA- How it came about: Personal Reflections on the Origin and the Development of LCA in the USA. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 1 (1), pp. 4-7.
- [30] Ayres, R., (1995) Life Cycle Analysis: a critique. *Resources, Conservation and Recycling*, 14, pp. 199-223.
- [31] Chacón Vargas, J. (2008) Historia ampliada y comentada del análisis de ciclo de vida. *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería*, 72, pp. 37-70.
- [32] Fink, P., Paul, D. (1997) The roots of LCA in Switzerland-Continuous learning by doing. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 2 (3), pp. 131-134.
- [33] Turconi, R., Boldrin, A., Astrup F. (2013) Life cycle assessment (LCA) of electricity generation technologies: Overview, comparability and limitations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, pp. 555-565.
- [34] Mata, M., Martins, A., Caetano, S. (2010) Microalgae for biodiesel production and other applications: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, pp. 217-232.
- [35] Borrion, L., Marcelle, C., Hammond, P. (2012) Environmental life cycle assessment of lignocellulosic conversion to ethanol: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, pp. 4638-4650.

- [36] Ebner, J., Babbitt, C., Winer, M., Hilton, B., Wiliamson, A. (2014) Life cycle greenhouse gas (GHG) impacts of a novel process for converting food waste to ethanol and co-products. *Applied Energy*, 130, pp. 86-93.
- [37] Daylan, B., Ciliz, N. (2016) Life cycle assessment and environmental life cycle costing analysis of lignocellulosic bioethanol as an alternative transportation fuel. *Renewable Energy*, 89, pp. 578-587.
- [38] Tonini, D., Hemelin, L., Alvarado-Morales, M., Astrup, T. (2016) GHG emission factors for bioelectricity, biomethane, and bioethanol quantified for 24 biomass substrates with consequential life-cycle assessment. *Bioresource Technology*, 208, pp. 123-133.
- [39] Islam, S., Ponnambalam, I., Lam, S. (2016) Review on life cycle inventory: methods, examples and applications. *Cleaner Production*, 136, pp. 266-278.
- [40] Muench, G. (2013) A systematic review of bioenergy life cycle assessments. *Applied Energy*, 112, pp. 257-273.
- [41] Lindorfer, J., Fazeni, K., Steinmüller, H. (2014) Life cycle analysis and soil organic carbon balance as methods for assessing the ecological sustainability of 2nd generation biofuel feedstock. *Sustainable Energy Technological Assessment*, 5, pp. 95-105.
- [42] Gracida, J., Pérez-Díaz (2014) Factores previos involucrados en la producción de bioetanol, aspectos a considerar. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30 (2), pp. 213-227.
- [43] Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2017) Portal de Indicadores de Eficiencia Energética y Emisiones Vehiculares. Disponible en: <http://www.ecovehiculos.gob.mx/>

- [44] Lundin, M., Olofsson, M., Pettersson, G., Zetterlun, H. (2004) Environmental and economic assessment of sewage sludge handling options. *Resources, Conservation and Recycling*, 41, pp. 255–278.
- [45] Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., Van Zelm, R. (2013) A Life Cycle Impact Assessment Method Which Comprises Harmonised Category Indicators at the Midpoint and the Endpoint Level first Ed. In: Report I: Characterization. Extraído de: <http://www.lciarecipe.net>.
- [46] Stefaniak, J., Zelazna, A., Pawłowski, A. (2014) Environmental assessment of different dewatering and drying methods based on life cycle assessment. *Water Science & Technology*, 69, no. 4.
- [47] Changqing, Z., Wei Ch., Jinglan, Z. (2014) Life-cycle environmental and economic assessment of sewage sludge treatment in China. *Journal of Cleaner Production*, 67, pp. 79-87.
- [48] Xu, B., Chen, Hong, J. (2014) Life-cycle environmental and economic assessment of sewage sludge treatment in China. *Journal of Cleaner Production*, 67, pp. 79-87.
- [49] Secretaría de Desarrollo Sustentable SEDESU (2011) Base de datos Datagen 2011, proporcionada por SEDESU.
- [50] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT (2012) Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero. Extraído de: <http://sinea.semarnat.gob.mx/sinea.php>.
- [51] Instituto Nacional de Geografía y Estadística INEGI (2012) Vehículos de motor registrados en circulación en Querétaro 2012. Extraído de: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/indicadores/?p=449#>.

- [52] Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Desarrollo Sustentable CADIS (2017) Base de datos Mexicana. Información proporcionada por: CADIS.
- [53] Navarro, I., Jiménez, B., Haro, M., Aponte, N. (2014) Análisis del Uso del Bioetanol como Medida de Mitigación y su Impacto en el Sector Hídrico: Estudio en una Región Cañera en México. *Desarrollo de Medio Ambiente*, 30, pp. 127-147.
- [54] Azadi, Malina, Barrett, Kraft (2017) The evolution of the biofuel science. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 1479-1484.
- [55] Carneiro, M., Pradelle, F., Braga, S., Gomes, M., Martins, A., Turkovics, F., Pradelle, R. (2017) Potential of biofuels from algae: Comparison with fossil fuels, ethanol and biodiesel in Europe and Brazil through life cycle assessment (LCA). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, pp. 632-653.
- [56] Hun, A., Mele, F., Pérez, G. (2017) A comparative life cycle assessment of the sugarcane value chain in the province of Tucumán (Argentina) considering different technology levels. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(4), pp. 502-515.
- [57] Muñoz, & Bazán (2003) Gases de efecto invernadero (GEI) por consumo de energía. *Boletín IIE*, (enero-marzo):32-36.
- [58] Ruser, Fuß, Andres, Hegewald, Kesenheimer, Köbke, Dittert. (2017) Nitrous oxide emissions from winter oil seed rape cultivation. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 249, 57-69.
- [59] International Conference of Green and Sustainable Innovation (2009) Life Cycle Assessment of Sugar Production in Northeastern of Thailand. Recuperado de: <http://icgsi.eng.cmu.ac.th/PresentationFileICGSI/FA/FA04.pdf>

[60] Daylan, B., Ciliz, N. (2016) Life cycle assessment and environmental life cycle costing analysis of lignocellulosic bioethanol as an alternative transportation fuel. *Renewable Energy*, 89, pp. 578-587.

[61] Crutzen, P. J., Mosier, A. R., Smith, K. A., Winiwarter, W. (2008) N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8, pp. 389-395.

[62] In Paul, C. (2016) A pioneer on atmospheric chemistry and climate change in the anthropocene. Springer International Publishing pp. 227-238.

[63] Bauer, S., Grotz, L. S., Connelly, E. B., Colosi, L. M. (2016) Reevaluation of the global warming impacts of algae-derived biofuels to account for possible contributions of nitrous oxide. *Bioresource Technology*, 218, pp.196-201.

[64] Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI (2016) México en el mundo. Extraído de: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos//prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/mex_mun2016/702825086374.pdf

[65] Instituto Nacional de Geografía y Estadística INEGI (2017) Indicadores ambientales. Extraído de: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/temas/default.aspx?s=est&c=21385>

[66] Haya, E. (2016) Análisis del ciclo de vida, Master en Ingeniería y Gestión Medioambiental, libro de cátedra. Escuela de organización industrial. Extraído de: <https://www.eoi.es/es/file/66611/download?token=BTXaL249>.

[67] Tolba, J. (1992) Agotamiento del ozono, In *Salvemos El Planeta*. Springer, Dordrecht, pp. 13-22.

[68] Romo, E. (2017) NAMAs la nueva tendencia. Revista Cero grados centígrados. Extraído de: <https://www.0grados.com/namas-la-nueva-tendencia/>.

[69] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2016) Control aduanero de las sustancias que agotan la capa de ozono, la capa de ozono y la SAO. Extraído de: <http://www.pnuma.org/ozono/curso/pdf/m1.pdf>.

[70] Programa de las Naciones Unidas para la Protección el Ambiente (2017) Protecting the ozone layer, solvents, coatings and adhesives. Extraído de: <http://www.unep.fr/ozonaction/information/mmcfiles/2334-e.pdf>, 13 de diciembre de 2017

[71] Pachon, E., Vaskan, P., Gorgens, J., Gnansounou, E. (2017) Techno-Economic and life cycle assessments of selected sugarcane-based biorefineries producing bioenergy and chemicals in South Africa. *Cellulose*, 5(17.9), 34-7.

[72] Halog, A. (2009) Models for evaluating energy, environmental and sustainability performance of biofuels value chain. *International Journal of Global Energy Issues*, 32(1-2), 83-101.

[73] Castro, F. (1992) Reporte del discurso pronunciado en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Río de Janeiro, 12 de junio de 1992.

[74] Ministry of Housing Spatial Planning and the Environmental (VROM) and Centre of Environmental Science-Leiden University (CML). Life Cycle Assessment. An Operational Guide to the ISO Standards. Reporte final Mayo 2001.

[75] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2000) XII Reunión del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe. Reporte final Bridgetown, Barbados, Marzo 2000.

11 ANEXOS

Anexo 1

Proceso unitario:	Origen de datos:	
Descripción de PU:		
Material de entrada:	Cantidad:	Unidades:
Consumo de agua:	Cantidad:	Unidades:
Materiales de salida:	Cantidad:	Unidades:

Ilustración 1. Creación de base de datos en OpenLCA

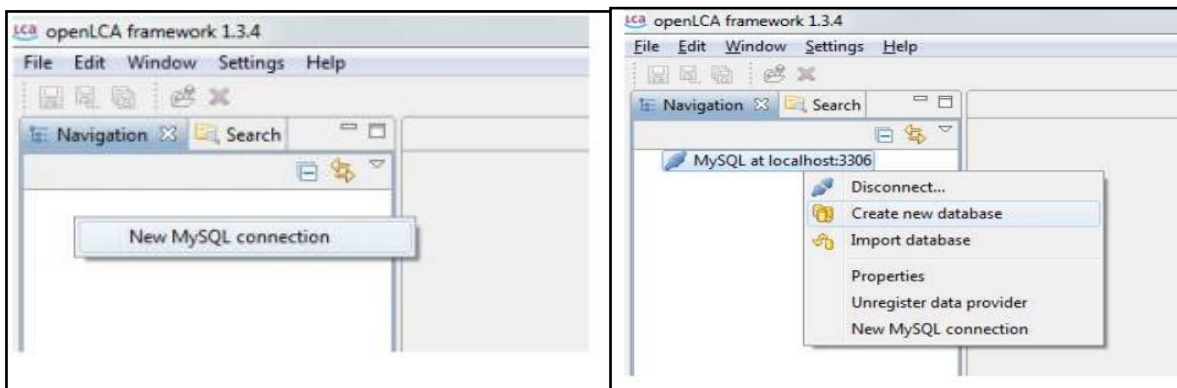


Ilustración 2. Tipos de bases de datos en OpenLCA

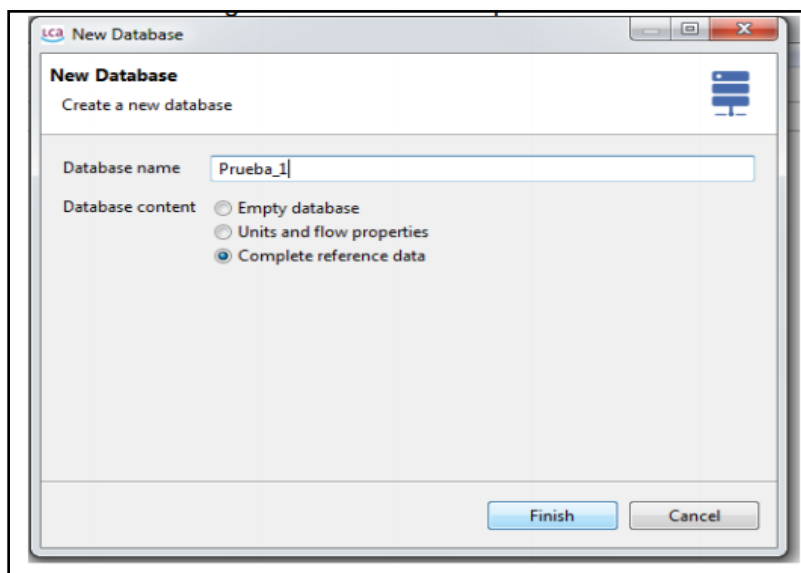
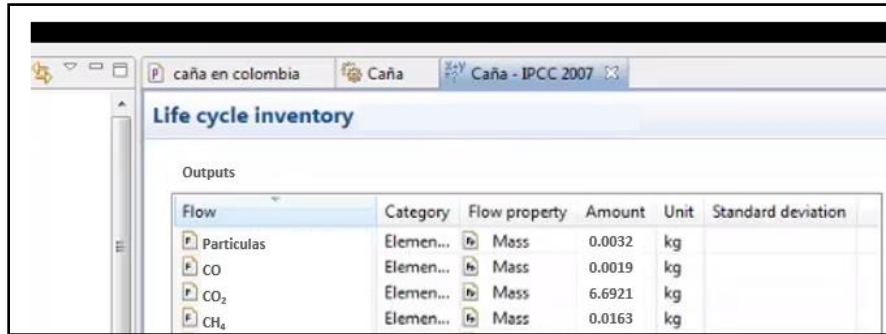


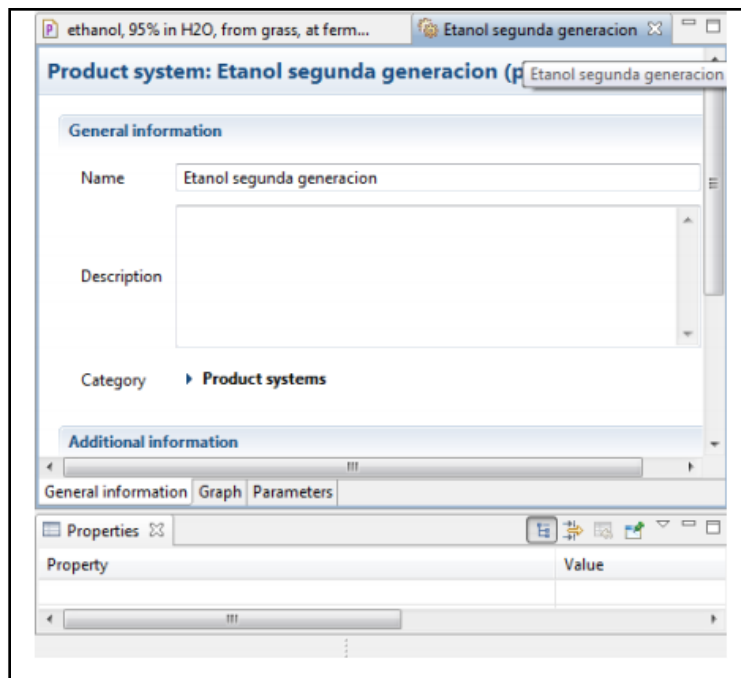
Ilustración 3. Introducción de datos de inventario en OpenLCA



The screenshot shows the 'Life cycle inventory' window in OpenLCA. It displays a table of outputs with the following data:

Flow	Category	Flow property	Amount	Unit	Standard deviation
Particulas	Elemen...	Mass	0.0032	kg	
CO	Elemen...	Mass	0.0019	kg	
CO ₂	Elemen...	Mass	6.6921	kg	
CH ₄	Elemen...	Mass	0.0163	kg	

Ilustración 4. Características generales del sistema de producto



The screenshot shows the 'Product system: Etanol segunda generacion' window. The 'General information' section contains the following fields:

- Name: Etanol segunda generacion
- Description: (Empty text area)
- Category: Product systems

The 'Additional information' section is currently collapsed. Below the main form, there are tabs for 'General information', 'Graph', and 'Parameters'. At the bottom, there is a 'Properties' section with a table for 'Property' and 'Value'.