



Código	FPI-002
Objeto	Protocolo de presentación de proyectos de investigación SIGEVA UNLaM
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	4
Vigencia	12/11/2021

Unidad Ejecutora:
Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas

Programa de acreditación:

CYTMA2

Título del Programa de Investigación:

Director del Programa:

Título del proyecto de investigación:

**Aplicación del análisis de ciclo de vida exergético a
la recuperación de energía de residuos orgánicos industriales en La Matanza**

PIDC:

Elija un elemento.

PII

Elija un elemento.

Director del proyecto:

Herrería, Elisabeth Ruth

Co-Director del proyecto:

Carucci, Juan

Integrantes del equipo:

Vidal, Mauro Hernán Ricardo

Jurado, Vanina Gabriela (Alumna)

Fecha de inicio:

01/01/2022

Fecha de finalización:

31/12/2023

1-Cuadro resumen de horas semanales dedicadas al proyecto por parte de director e integrantes del equipo de investigación:

Rol del integrante	Nombre y Apellido	Cantidad de horas semanales dedicadas al proyecto
Director	Elisabeth Ruth Herrería	8hs
Co-director	Juan Carucci	4hs.
Director de Programa	-	
Docente-investigador UNLaM	Mauro Hernán Ricardo Vidal	4hs.
Investigador externo	-	
Asesor-Especialista externo	-	
Graduado de la UNLaM	-	
Estudiante de carreras de posgrado (UNLaM)	-	
Alumno de carreras de grado (UNLaM)	Vanina Gabriela Jurado	4hs.
Personal de apoyo técnico administrativo	-	

2-Plan de investigación

2. Tipo de actividad I+D:
Aplicada

2.1. Resumen del Proyecto:

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo evaluar cómo la aplicación del análisis de ciclo de vida exergético (ACVE) permite identificar mejor los potenciales impactos ambientales del proceso de reconversión energética de residuos orgánicos industriales generados localmente en comparación con el análisis de ciclo de vida (ACV).

Asimismo, su principal antecedente temático se basa en el trabajo de investigación desarrollado en el proyecto titulado "*Aplicación de la Química Verde en la elaboración de aceites de oleaginosas y subproductos para la reducción de impactos ambientales*" (C2-ING-068), acreditados en el DIIT.

Así pues, el núcleo del problema a investigar surge de extender la tradicional metodología del ACV, estandarizada en las normas ISO 14040:2006 y 14044:2006, al análisis exergético y su relación con la búsqueda de un manejo sustentable de procesos de reconversión energética para afrontar la denominada transición ecológica, paradigma emergente.

Por otra parte, el ACVE posee el potencial para superar ciertos problemas asociados a la caracterización y a la valoración de los impactos ambientales en la metodología tradicional del ACV; aristas juzgadas como contenciosas dentro de los estudios de ACV.

Es esperable, pues que al ser el ACVE un área de estudio emergente dentro del campo interdisciplinar de la ecología industrial, y considerando que la mayoría de los trabajos realizados pertenecen a economías no emergentes, este trabajo de investigación tendrá un alcance exploratorio, y se basará en un estudio de caso local partiendo de un análisis de la capacidad energética de los residuos orgánicos industriales más representativos localmente.

Por lo tanto, se prevé disponer de datos primarios cuantitativos para estimar los potenciales impactos ambientales obtenidos por medio del ACV y del ACVE a fin de evaluar el alcance de la metodología del ACVE aplicada a la cuantificación de la sustentabilidad.

Finalmente, se considera que la problemática a investigar en este proyecto se ubica dentro del espectro de áreas temáticas innovadoras y con potencial vinculación a la sustentabilidad del referido sector de recuperación de energía.

2.2. Palabras clave: Análisis de ciclo de vida, exergía, reconversión energética

2.3 Resumen del Proyecto (inglés):

This research project aims to assess how the application of exergetic life cycle assessment (ELCA) allows to better identify the potential environmental impacts of the energy conversion process of locally generated industrial organic waste compared to life cycle assessment (LCA).

Likewise, its main thematic background is based on the research work developed in the project entitled "*Application of Green Chemistry in the elaboration of oilseed oils and by-products for the reduction of environmental impacts*" (C2-ING-068), accredited in the DIIT.

Furthermore, the core of the research problem arises from extending the traditional LCA methodology, standardized in the ISO 14040:2006 and 14044:2006 standards, to exergy and its relationship with the search for a sustainable management of energy conversion processes to face the so-called ecological transition, an emerging paradigm.

On the other hand, the ELCA has the potential to overcome certain problems associated with the characterisation and assessment of environmental impacts in the traditional LCA methodology; contentious aspects widely debated.

It is expected, since the ACVE is an emerging area of study within the interdisciplinary field of industrial ecology, and considering that most of the work carried out belongs to non-emerging economies, this research work will have an exploratory scope, and will be based on a local case study based on an analysis of the energy capacity of the most locally representative industrial organic waste.

Therefore, it is expected to obtain quantitative primary data to estimate the potential environmental impacts obtained through LCA and ELCA to evaluate the scope of the ELCA methodology applied to the quantification of sustainability.

Finally, it is considered that the underlying research problems of this project are situated within the spectrum of innovative thematic areas with potential links to the sustainability of the aforementioned energy recovery sector.

2.4 Palabras clave (inglés): Life cycle assessment, exergy, waste-to-energy,

2.5 Disciplina desagregada: 5199 Economía – Otras (Economía Ecológica/Ecología Industrial)

2.6 Campo de aplicación: 999 Desarrollo socioeconómico y servicios – Otros (Desarrollo Sustentable)

2.7 Especialidad: Ecología Industrial

2.8 Estado actual del conocimiento:

La metodología del análisis de ciclo de vida (ACV) basada en los estándares de las normas ISO 14001:2006 y 14044:2006 se erige en una herramienta que permite evaluar los potenciales impactos ambientales asociados a procesos productivos y tecnológicos, productos y servicios con el propósito de cuantificar la sustentabilidad de los mismos y brindar un marco de referencia empírico para diferentes fines tales como eco-diseño, eco-etiquetado, descarbonización, reducción de agentes tóxicos, etc., asociados a la agenda de la eco-innovación y los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS).

No obstante, la metodología del ACV no se encuentra exenta de ciertos problemas dado que, si bien supone analizar un orden de cosas sujetas a cambio cualitativo, su puesta en práctica debe sortear precisamente una serie de cuestiones inherentes a cuantificar lo que esencialmente ocurre como transformaciones entrópicas (Herrería, 2021).

En un artículo reciente, Beemsterboer et al. (2020) plantean que el uso extendido de estrategias de simplificación en el ACV amerita convertirse en sí mismo en un área de investigación dentro de este marco metodológico, señalando que, si bien las prácticas de simplificación son habituales y muy generalizadas desde mediados de 1990, muy pocas veces son informadas de manera transparente. Es precisamente esta carencia de transparencia lo que oscurece la contribución aplicada de los resultados obtenidos, siendo precisamente en las etapas del análisis del inventario del ciclo de vida, de la evaluación de los potenciales impactos y, por ende, de la interpretación de los resultados las que han venido siendo objeto de estrategias de simplificación (Brest y

Frankhause:1996; Curran y Young:1996; Fleisher et al.:2001; Heiskanen:2002; Hochschorner y Finnveden:2003; Hurt et al.:2004; Moberg et al.:2014; Arzoumanidis et al.:2017 y van der Werf et al.:2020).

En la etapa del inventario del ciclo de vida del sistema de referencia en estudio, el proceso de cuantificación de los flujos de entrada y salida plasmado en la matriz de datos se complejiza debido a que las unidades de medida utilizadas no son las mismas, requiriéndose calcular los factores de caracterización en base a modelos que introducen sesgos, debido a que se emplean criterios que no necesariamente se ajustan a factores objetivos por los cuales se caracterizan a esos factores. Por consiguiente, la evaluación de los impactos asociados a esos factores que se desarrollan precisamente en la siguiente etapa se basan en estimaciones que presentan sesgos, y por ende, la interpretación de esos resultados han de ser objetables.

Si bien la misma norma ISO 140044:2006, la cual refiere a la interpretación de los resultados, reconoce ciertos aspectos cualitativos en cuanto a la representatividad de los datos, su consistencia y la reproducibilidad del estudio efectuado, es esperable que los aspectos subjetivos sean minimizados de manera tal de reducir el grado de incertidumbre que conlleva evaluar e interpretar los potenciales impactos ambientales asociados al sistema de referencia en estudio.

Así pues, la metodología del ACV se ha visto interpelada como herramienta para evaluar los impactos ambientales y el consumo de recursos, precisamente por los niveles de subjetividad introducidos en las señaladas etapas, emergiendo de esta forma la necesidad de aplicar un enfoque más riguroso que no solamente permita evaluar la renovabilidad de los recursos utilizados (Bösch et al.:2007) sino que además reconozca un marco termodinámico desde donde cuantificar la sostenibilidad de un sistema de producción o de procesos tecnológicos (Finnveden et al.:2016 y Morosuk et al.:2016).

Este nivel de disconformidad con la metodología del ACV abrió el camino para introducir al análisis exergético como un método superador ya no solamente como indicador del agotamiento de recursos, sino que principalmente como un enfoque que permite cuantificar en una misma unidad de medida los recursos energéticos y no-energéticos que se emplean, incluido capital y trabajo, y los flujos de corrientes residuales y emisiones (Simpson et al.:2011; Morosuk et al.:2016). Por ende, el análisis de exergía puede ser empleado en la etapa del inventario del ciclo de vida para medir en una misma unidad de medida los flujos de entrada y evaluar en términos de destrucción de exergía las categorías de impacto ambiental tendiente a un proceso de evaluación ambiental con mayor de objetividad.

La extensión del enfoque exergético a la metodología del ACV ha ganado terreno en los estudios aplicados al sector de recuperación de residuos y de tecnología de reconversión de energía a partir de residuos (Laner et al.:2015 y Rocco et al.:2017) hasta llegar a convertirse en una herramienta que permite complementarse con el tradicional ACV en el sector de recuperación de energía (Zhang et al.: 2019) para otorgar una robusta y objetiva mirada a la búsqueda de la sostenibilidad de los recursos y la energía empleados en procesos asociados a reconversión energética de residuos, área temática del problema de investigación de este proyecto.

En tal sentido, es posible comprender que tanto la convencional metodología del ACV como la extensión del enfoque exergético a la misma buscan capturar la esencia cualitativa de las transformaciones entrópicas.

2.9. Problemática a investigar:

Si bien la metodología del análisis de ciclo de vida es ampliamente utilizada dentro del campo interdisciplinar de la ecología industrial como herramienta de la agenda de la eco-innovación, no se haya exenta de inconvenientes asociados a aspectos que se relacionan con ciertos sesgos que se producen en las etapas de evaluación de los impactos ambientales y de la interpretación de los mismo. Así pues, la incorporación del enfoque exergético a la metodología del análisis de ciclo de vida presenta ventajas relativas a los inconvenientes que se presentan en el proceso de caracterización y valorización de los factores de los recursos no-energéticos, recursos que difícilmente pueden ser medidos por una misma unidad de medida. Cabe recordar que a partir de esos factores se obtiene el indicador de impacto ambiental asociado en la metodología convencional del análisis del ciclo de vida.

Por lo tanto, la no disponibilidad de una unidad de medida de análisis común para cada uno de esos factores de los recursos no-energéticos genera ciertos problemas metodológicos críticos, precisamente en las etapas de evaluación del impacto y de interpretación de los resultados, apelando a distintas formas de ponderación de los resultados de modo de poder interpretar más apropiadamente los resultados obtenidos en cuanto a los impactos ambientales.

Precisamente, aplicar el enfoque exergético a la convencional metodología del análisis del ciclo de vida permite disponer de una misma unidad de medida expresada en la unidad de exergía de los distintas sustancias de los recursos no-energéticos, posibilitando así una mejor comparación al poder medir con la misma unidad de medida los diversos recursos no-energéticos y disponer de estimaciones más robustas y con menos sesgos de los impactos ambientales asociados a dichos recursos empleados en un proceso o en un producto.

Asimismo, los residuos orgánicos originados en ciertos procesos industriales tanto como biomasa como lodos industriales pueden ser considerados como un subproducto para ser utilizados en generación de energía renovable a baja escala o en un sistema de cogeneración.

Por otra parte, las trayectorias hacia la transición ecológica suponen un cambio social radical tanto en las fuentes de generación como en el consumo de energía, ubicando a las fuentes de energía renovable como ambientalmente sostenible. Sin embargo, no toda fuente de energía renovable puede ser concebida como limpia, siendo la proveniente de residuos orgánicos una forma de energía renovable pero no limpia debido a los impactos ambientales asociados a los contaminantes generados a partir de su combustión, destacándose partículas en suspensión, dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂) como asimismo ciertos hidrocarburos que contribuyen a varias categorías de impacto ambiental incluidas en la metodología del análisis de ciclo de vida.

No obstante, esta fuente de obtención de energía es concebida como una alternativa intermedia en el desarrollo de un sistema energético sostenible en el contexto de la denominada transición ecológica.

Paralelamente y considerando la visión de la transición ecológica, la incorporación de prácticas eco-innovadoras asociadas a la reducción de residuos en origen en los diversos sectores industriales no ha escalado sustantivamente de manera tal que se evidencie una reducción en términos absolutos en la generación en origen de distintas corrientes residuales, denotando que las transformaciones en los patrones de producción aún transitan por un proceso de desmaterialización relativa. Consecuentemente, la recuperación o reutilización de residuos de origen industrial y el desarrollo de tecnologías apropiadas para tales propósitos son entendidos a la vez como estrategias contingentes y transitorias de los procesos de escalamiento de prácticas eco-innovadoras para la reducción de residuos en origen, y en cierta manera reflejan una opción tendiente a mitigar los efectos de patrones de producción distantes de aquellos que promueven una desmaterialización absoluta

Así pues, la conjunción relacional de estas problemáticas se erige como eje interrelativo por el cual se plantea el problema de investigación del presente proyecto. Por consiguiente, la problemática a tratar se propone escrudñar si la aplicación del enfoque exergético en la metodología del análisis de ciclo de vida (ACVE) mejora los inconvenientes presentados en dicha metodología para evaluar los impactos ambientales que se originan cuando los residuos orgánicos de origen industrial son aprovechados energéticamente.

De ahí que el núcleo del problema a investigar vincula tanto conceptualmente como metodológicamente la temática de las prácticas eco-innovadoras asociadas a la recuperación de energía procedente de los residuos previamente indicados y su evaluación ambiental a través de la metodología del ACVE.

Por último, la delimitación de esta problemática a investigar pretende asimismo promover un acercamiento desde el campo interdisciplinar de la ecología industrial a problemas de investigación asociados tanto al avance de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible como al escalamiento de las estrategias orientadas a la transición ecológica.

2.10. Objetivos:

Objetivo general:

Evaluar cómo la aplicación del análisis de ciclo de vida exergético (ACVE) permite identificar mejor los potenciales impactos ambientales del proceso de reconversión energética de residuos orgánicos industriales generados localmente en comparación con el análisis de ciclo de vida (ACV).
Objetivos específicos:

1. Identificar y caracterizar los residuos orgánicos industriales más representativos localmente.
2. Evaluar la pertinencia de las tablas estandarizadas de exergía química de los compuestos identificados para reconvertir energéticamente.
3. Analizar la capacidad energética de los residuos orgánicos industriales más representativos localmente.
4. Realizar el análisis del ciclo de vida (ACV) en un estudio de caso de reconversión energética basado en los residuos identificados localmente.
5. Realizar el análisis del ciclo de vida exergético (ACVE) en el mismo estudio de caso de reconversión energética basado en los residuos identificados localmente.
6. Evaluar el potencial del análisis de ciclo de vida exergético (ACVE) para identificar los potenciales impactos ambientales de reconversión energética a partir de los residuos seleccionados en el estudio de caso en comparación con el análisis del ciclo de vida (ACV).

2.11. Marco teórico:

Los fundamentos del campo interdisciplinar de la ecología industrial conforman el marco teórico desde donde se abordará el problema de investigación planteado y sus implicancias para la agenda de la eco-innovación y la transición ecológica.

Así pues, el campo interdisciplinar de la ecología industrial se desarrolla hacia fines de la década de 1980, acompañando el surgimiento de la búsqueda de un desarrollo industrial sostenible en el marco del incipiente paradigma del desarrollo sustentable (Frosch:1995), buscando esencialmente restablecer los vínculos perdidos entre la evolución económica y biológica inherentes al desarrollo histórico de la humanidad. Asimismo, este campo interdisciplinar se enfoca en la prevención de los impactos ambientales de los procesos de producción y de los bienes producidos y en menor medida de los servicios ofrecidos, promoviendo procesos cerrados y no lineales, análogamente a los ecosistemas. Si bien existe una variedad de enfoques teóricos con relación a la posibilidad de establecer analogías entre los sistemas productivos y los naturales (Martínez Alier:1995; Naredo y Carpintero:2003), existe una visión unificada en este diverso campo interdisciplinar en cuanto a enfatizar la prevención de la contaminación de origen industrial mediante el rediseño de productos y procesos que van más allá de la descarbonización de la economía (Lowe y Evans: 1995; Ehrendfel y Gertler:1997; Erksam:1997; Ehrendfel:2004)

Por otra parte, la ecología industrial se encuentra asociada a la búsqueda de desacoplar o desmaterializar las actividades de producción y consumo de la base material y energética en la cual se sustenta el proceso económico. Dado que la ecología industrial es tributaria del campo disciplinar de la economía ecológica, su base epistemológica se asienta en los cambios cualitativos de materia y energía que postula la Ley de la Entropía, y por lo tanto, los procesos productivos se encuentran sujetos a la irreversibilidad e irrevocabilidad inherente de la degradación entrópica que rigen la base biofísica en que se sustenta el proceso productivo.

2.12. Hipótesis de trabajo o los supuestos implícitos (según corresponda al diseño metodológico):

Se establece como hipótesis inicial de trabajo que el análisis del ciclo de vida exergético (ACVE) aplicado a la reconversión energética de residuos orgánicos de origen industrial reduce el sesgo en la evaluación de los impactos ambientales en comparación con el análisis de ciclo de vida ACV.

2.13. Metodología:

Para cumplimentar con el objetivo específico 1, se identificará por fuentes de datos secundarios las corrientes residuales más representativas localmente. Se prevé geolocalizar los establecimientos industriales asentados localmente para determinar los perfiles de los principales constituyentes de las corrientes de residuos por ramas de actividad en base a criterios que permitan su caracterización y clasificación.

Para cumplimentar con el objetivo específico 2, se contrastará los constituyentes de corrientes de residuos caracterizados con los datos secundarios de las tablas estandarizadas de exergía química de los compuestos y se validará.

Para cumplimentar con el objetivo específico 3, se dimensionará en base a la validación efectuada la capacidad energética de las corrientes residuales identificadas.

Para cumplimentar con los objetivos específicos 4 y 5, se identificará un estudio de caso del proceso de reconversión energética pertinente a las corrientes residuales en estudio.

Para cumplimentar con el objetivo 4, se desarrollarán las etapas del análisis de ciclo de vida (ACV) en el estudio de caso seleccionado partiendo desde la capacidad energética obtenida.

Para cumplimentar con el objetivo específico 5, se desarrollarán las etapas del análisis de ciclo de vida exergético (ACVE) en el estudio de caso seleccionado partiendo desde la capacidad energética obtenida.

Para cumplimentar con el objetivo específico 6, se evaluarán los resultados de los potenciales impactos ambientales obtenidos del ACV y del ACVE del proceso de reconversión energética del estudio de caso.

Se prevé utilizar el software libre openLCA desarrollado como *open source* por GreenDelta y el software libre *Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts* (TRACI) desarrollado por US EPA.

2.14. Bibliografía:

Arzoumanidis I, Salomone R, Petti L, Mondello G, Raggi A (2017) Is there a simplified LCA tool suitable for the agri-food industry? An assessment of selected tools. *Journal of Cleaner Production*, 149:406–425.

Beemsterboer S, Baumann H, Wallbaum H (2020) Ways to get work done: a review and systematization of simplification practices in the LCA literature. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 25:2154-2168.

Bösch M E, Hellweg S, Huijbregts M A, Frischknecht R (2007) Applying cumulative exergy demand (CExD) indicators to the ecoinvent database. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 12:181-190.

Bretz R, Frankhauser P (1996) Screening LCA for large numbers of products: estimation tools to fill data gaps. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 1:139–146.

Curran MA, Young S (1996) Report from the EPA conference on streamlining LCA. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 1:57–60.

Ehrendfel J, Gertler N (1997) Industrial Ecology in Practice – the evolution of independence at Kalundborg. *Journal of Industrial Ecology*, 1(1):67-79.

Ehrendfel JR (2004) Can Industrial Ecology be the “Science of Sustainability”. *Journal of Industrial Ecology*, 8(1-2):1-3.

Erkman S (1997) Industrial Ecology: an historical view. *Journal of Cleaner Production*, 5(1-2):1-10.

Finnveden G, Arushanyan Y, Brandão M (2016) Exergy as a measure of resource use in life cycle assessment and other sustainability assessment tools. *Resources*, 5:23.

Fleischer G, Gerner K, Kunst H, Lichtenvort K, Rebitzer G (2001) A semi-quantitative method for the impact assessment of emissions within a simplified life cycle assessment. *Journal of Life Cycle Assessment*, 6:149–156.

Frosch RA (1995) Industrial Ecology. Adapting Technology for a Sustainable World. *Environment*, 37(10):17-37.

Heiskanen E (2002) The institutional logic of life cycle thinking. *Journal of Life Cycle Assessment*, 10:427–437.

Herrería ER (2021) Una revisión epistemológica a la metodología del análisis de ciclo de vida.

A través de las lentes del modelo flujo-fondo de Georgescu-Roegen. Manuscrito inédito, enviado a *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* (REBIVEC) para su publicación.

Hochschorner E, Finnveden G (2003) Evaluation of two simplified life cycle assessment methods. *Journal of Life Cycle Assessment*, 8:119–128.

Hur T, Lee J, Ryu H, Kwon E (2005) Simplified LCA and matrix methods in identifying the environmental aspects of a product system. *Journal of Environmental Management*, 75:229–237.

Koroneos C, Tsarouhis M, Exergy analysis and life cycle assessment of solar heating and cooling systems in the building environment. *Journal of Cleaner. Production*, 32:52–60.

Laner D, Rechberger H, De Soete W, De Meester S, Astrup T F (2015) Resource recovery from residual household waste: An application of exergy flow analysis and exergetic life cycle assessment. *Waste Management*, 46:653–667.

Lowe EA, Evans L (1995) Industrial Ecology and Industrial Ecosystems, *Journal of Cleaner Production*, 3(1-2).

Martínez Alier, J (2003) Ecología industrial y metabolismo socioeconómico: concepto y evolución histórica, *Revista Economía Industrial*, 352.

Moberg Å, Borggren C, Ambell C, Finnveden G, Gulbrandsson F, Bondesson A, Malmodin J, Bergmark P (2014) Simplifying a life cycle assessment of a mobile phone. *Journal of Life Cycle Assessment*, 19:979–993.

Morosuk T, Tsatsaronis G, Koroneos, C (2016) Environmental impact reduction using exergy-based methods. *Journal of Cleaner Production*, 118:118–123.

Naredo JM, Carpintero Ó. (2003) Ecología Industrial, *Revista Economía Industrial*, 352.

Rocco MV, Di Lucchio A, Colombo E (2017) Exergy life cycle assessment of electricity production from waste-to-energy technology: A hybrid input-output approach. *Applied Energy*, 194:832–844.

Simpson AP, Edwards, CF (2011) An exergy-based framework for evaluating environmental impact. *Energy*, 36:1442–1459.

van der Werf HM, Knudsen MT, Cederberg C (2020) Towards better representation of organic agriculture in life cycle assessment. *Nature Sustainability*:1–7.

Zhang Q, Gao J, Wang Y, Wang L, Yu Z, Song D (2019) Exergy-based analysis combined with LCA for waste heat recovery in coal-fired CHP plants. *Energy*, 169:247–262.

2.15. Programación de actividades (Gantt):

Actividades / Responsables 1er Año	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Objetivos específicos 1, 2, 3, 4 y 5: Actividad 1: Revisar bibliografía y <i>softwares</i> especializados. Responsables: EH, JC, MV y VJ	X	X	X									
Objetivo específico 1: Actividad 1.1: Identificar datos secundarios de corrientes residuales representativas localmente. Actividad 1.2: Caracterizar y clasificar los principales constituyentes de las corrientes residuales de las ramas industriales locales. Responsables: EH, JC, MV y VJ				X	X	X						
Objetivo específico 2: Actividad 2.1: Contrastar los datos secundarios de las tablas de exergía química de los compuestos con los constituyentes de las corrientes de residuos caracterizados y efectuar la validación correspondiente. Responsables: JC y MV							X	X	X			
Objetivo específico 3: Actividad 3.1: Dimensionar la capacidad energética de las corrientes residuales identificadas en base a la validación efectuada. Responsables: JC y MV										X	X	
Objetivos específicos 4 y 5: Actividad común 1: Realizar trabajo de campo para identificar un estudio de caso del proceso de reconversión energética pertinente a las corrientes residuales en estudio para realizar el ACV y el ACVE.											X	X

Responsables: EH, JC, MV y VJ												
Objetivos específicos 4 y 5: Actividad ad-hoc 1: Elaborar poster para presentar en el XIV Congreso de Ingeniería Industrial y en ExpoProyecto – DIIT (UNLaM) sobre alcances del ACV y del ACVE. Actividad ad-hoc 2: Establecer contactos con grupos de investigación afines externos para promover vinculación colaborativa. Responsables: EH y VJ							X	X	X	X		
Actividad 1 ad-hoc del proyecto: Realizar la presentación para la convocatoria a becas de investigación UNLaM y/o CIN de la alumna participante. Actividad 2 ad-hoc del proyecto: Elaborar el informe de avance del proyecto y rendición de cuentas de 1° cuota del presupuesto. Responsable: EH											X	X
Actividades / Responsables 2do Año	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Objetivo específico 4 y 5: Actividad común 2: Definir los límites del sistema en estudio y la unidad funcional para ACV y ACVE. Responsables: EH, JC, MV y VJ	X	X										
Objetivo específico 4: Actividad 4.1: Realizar el inventario del ciclo de vida del ACV mediante estrategias de simplificación pertinentes. Responsables: EH, JC, MV y VJ Actividad 4.2: Realizar la evaluación del impacto ambiental del ACV mediante estrategias de simplificación pertinentes. Responsables: EH, JC, MV y VJ Actividad 4.3: Interpretar los resultados obtenidos de los potenciales impactos ambientales del ACV. Responsables: EH, JC, MV y VJ			X	X	X							
Objetivo específico 5: Actividad 5.1: Realizar el inventario del ciclo de vida del ACVE mediante estrategias de simplificación pertinentes. Responsables: EH, JC, MV y VJ Actividad 5.2: Realizar la evaluación del impacto ambiental del ACVE mediante estrategias de simplificación pertinentes. Responsables: EH, JC, MV y VJ Actividad 5.3: Interpretar los resultados obtenidos de los potenciales impactos ambientales del ACVE. Responsables: EH, JC, MV y VJ						X	X	X				
Objetivo específico 6: Actividad 6.1: Analizar el alcance de los resultados de los potenciales impactos ambientales obtenidos del ACV y del ACVE. Responsables: EH, JC, MV, VJ									X			

Actividad 3 ad-hoc del proyecto: Preparar artículo de investigación en base a los avances de resultados de objetivos 1 a 6. Responsables: EH, JC, MV, VJ										X	X	X	X
Actividad 4 ad-hoc del proyecto: Elaborar el informe final del proyecto y rendición de cuentas de 2° cuota del presupuesto. Responsable: EH													X

Responsables: EH: Elisabeth Ruth Herrería; JC: Juan Carucci; MV: Mauro Hernán Ricardo Vidal; VGJ: Vanina Gabriela Jurado.

2.16. Resultados en cuanto a la producción de conocimiento:

Contribuir a un mejor entendimiento de la metodología del análisis de ciclo de vida desde la perspectiva exergética como herramienta de cuantificación de sustentabilidad de procesos de reconversión energética de residuos orgánicos de origen industrial a nivel local.

Considerando que el análisis exergético permite unificar la unidad de medida de las entradas y salidas del ciclo de vida, es posible identificar mejor los potenciales impactos ambientales asociados y evaluar el grado de sostenibilidad del proceso tecnológico de generación de energía procedente de este tipo de residuos.

2.17. Resultados en cuanto a la formación de recursos humanos:

Fortalecer competencias científico-tecnológicas interdisciplinarias de los docentes-investigadores y de la alumna participantes mediante el trabajo colaborativo a desarrollarse durante la ejecución de este proyecto.

Adquirir competencias y habilidades en las distintas áreas del proyecto conducentes al ejercicio de prácticas concretas de investigación aplicadas a la metodología del análisis de ciclo de vida exergético para que tanto los docentes-investigadores como la alumna participante profundicen el conocimiento teórico y metodológico del campo interdisciplinar de estudio de este proyecto de investigación.

2.18. Resultados en cuanto a la difusión de resultados:

Brindar conocimiento de base a los sectores involucrados en el área temática de este proyecto para que dispongan de evidencia empírica original y direccionar acciones tendientes a mitigar impactos ambientales.

Publicar los resultados de la producción de esta investigación en alguna revista de acceso abierto (Vía Dorada) pertinente al área temática y/o difundiendo la producción de la investigación en algún repositorio de Acceso Abierto (Vía Verde) pertinente temáticamente.

Presentar avances y resultados en eventos de carácter tanto académico como de interés general tales como las próximas ediciones del Congreso de Ingeniería Industrial (COINI) y de ExpoProyecto (DIIT-UNLaM).

2.19. Resultados en cuanto a transferencia hacia las actividades de docencia y extensión:

Actividades de docencia:

Los resultados de la investigación podrán ser incorporados como material bibliográfico de las asignaturas *Industrias I*, *Termodinámica y Máquinas Térmicas* y *Ecología y Desarrollo Sustentable*, pertenecientes al plan de estudios vigente de la carrera de Ingeniería Industrial, en donde se abordan contenidos pertinentes a la temática del proyecto de investigación propuesto. Los mismos podrían ser utilizados para la confección de una ficha de cátedra a ser posteriormente utilizada como bibliografía de base para un estudio de caso o para la resolución de una actividad bajo la modalidad de aprendizaje basado en problemas.

Actividades de extensión:

Los resultados de la investigación podrían ser considerados por la Secretaría de Extensión Universitaria - Área Empresas como soporte para ofrecer consultorías y desarrollos estratégicos a potenciales empresas y/o emprendimientos productivos interesados en procesos ambientalmente sostenibles de reconversión energética la incorporación de estrategias de desarrollo de procesos químicos basados en química verde.

2.20. Resultados en cuanto a la transferencia de resultados a organismos externos a la UNLaM: Evidencia empírica original para programas de evaluación de potenciales impactos ambientales de los procesos de reconversión energética a partir de residuos orgánicos industriales.

Potenciales organismos e instituciones interesados en la transferencia de resultados:

- Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático (Ministerio de la Producción Provincia de Buenos Aires)
- Consejo Empresario Argentino para el Desarrollo Sustentable (CEADS)
- Cámara de Industria y Comercio de la Matanza (CICM)
- Secretaría Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del Municipio de La Matanza
- Secretaría de Producción del Municipio de La Matanza

2.21. Vinculación del proyecto con otros grupos de investigación del país y del exterior:

Consultar repositorios digitales y publicaciones especializadas para averiguar quiénes y dónde desarrollan programas de investigaciones afines al problema de investigación de este proyecto.

Dependiendo de la recepción del contacto establecido y del interés suscitado por la otra parte, se realizará un seguimiento a estos contactos preliminares para evaluar posibles formas de vinculación durante la ejecución del proyecto de investigación con la aspiración a formar redes de contacto con pares investigadores tanto dentro del país como del exterior.

2.22. Destinatarios:

Tipo de destinatario		Subtipo de destinatario	¿Cuál? Especificar	Demandante	Adoptante
Sector Gubernamental	Gobiernos	Del Poder Ejecutivo nacional	-	-	-
		Del Poder Ejecutivo provincial	-	-	-
		Del Poder Ejecutivo municipal			
	Otras Instituciones gubernamentales	Poder Legislativo en sus distintas jurisdicciones	-	-	-
		Poder Judicial en sus distintas jurisdicciones	-	-	-
Sector Salud		Hospitales, centros comunitarios de salud y otras entidades del sistema de atención	-	-	-
Sector Educativo	Sistema universitario		-	-	-
	Sistema de educación básica y secundaria		-	-	-
	Sistema de educación terciaria		-	-	-
Sector Productivo	Empresas		-	-	-
	Cooperativas de trabajo y producción		-	-	-
	Asociaciones del Sector		Cámara Argentina de Energía Renovable	-	X
Sociedad Civil		ONG's y otras organizaciones sin fines de lucro	-	-	-

	Comunidades locales y particulares	-	-	-
--	------------------------------------	---	---	---

3-Recursos Existentes

Descripción/ concepto	Cantidad	Observaciones
Laboratorio de química	-	A ser requerido en determinadas actividades a definir para cumplimentar con el objetivo específico 1.
-	-	-

4-Recursos financieros

	Rubro	Año 1	Año 2	Total
Gastos de capital (equipamiento)	a) Equipamiento			
	a.1) Insumos de laboratorio para ensayos químicos a definirse para objetivo específico 1	\$9.000	\$9.000	\$18.000
	b) Licencias			
	b.1) -			
	c) Bibliografía			
	c.1) -			
	Total Gastos de Capital	\$ 9.000,00	\$ 9.000,00	\$ 18.000,00
Gastos corrientes (funcionamiento)	d) Bienes de consumo			
	d.1) Hojas para impresiones, fotocopiado y escaneos	\$2.500	\$2.500	\$5.000
	e) Viajes y viáticos			
	e.1) Viáticos para trabajo de campo relativos a objetivos específicos 1, 4 y 5	\$5.000	\$5.000	\$10.000
	f) Difusión y/o protección de resultados			
	f.1) Inscripción a congresos para presentación de resultados, vinculación y difusión	\$10.000	\$10.000	\$20.000
	g) Servicios de terceros			
	g.1) Ensayos químicos en laboratorios externos para caracterización	\$12.500	\$12.500	\$25.000
	h) Otros gastos			
	h.1) -			
	Total Gastos Corrientes	\$ 30.000,00	\$ 30.000,00	\$ 60.000,00
	Total Gastos (Capital + Corrientes)	\$39.000,00	\$39.000,00	\$78.000,00

a.1) Insumos de laboratorio para ensayos de parametrización química a ser definidos: Se solicita monto para realizar ensayos a definirse durante las etapas intermedia y final del proyecto (ejemplo medición de ph, conductividad, etc.)

Montos aproximados: \$9.000

d.1) Impresiones, fotocopiado, bajada de pendrive y escaneo: Se solicita monto para efectuar compras de resmas de papel para impresiones de informes, trabajos y bibliografía como asimismo el fotocopiado, la bajada de pendrive y escaneo de documentación pertinente al proyecto y a materiales bibliográficos.

Montos aproximados:

Resma papel A4 (Gramaje: 75 g/m²) de 500 hojas precio unitario \$750

Fotocopias A4 doble faz blanco y negro precio unitario: \$10

Fotocopias A4 color precio unitario: \$40

Escaneo en hoja simple A4 precio unitario: \$10

f.1) Inscripción a congreso para presentación de resultados: Se solicita el monto para efectuar la inscripción a las próximas ediciones del Congreso de Ingeniería Industrial (COINI) organizadas por la Asociación Argentina de Carreras de Ingeniería Industrial.

Montos aproximados: \$10.000

g.1) Ensayos químicos en laboratorios externos para caracterización a ser definido: Se solicita monto para realizar ensayos a definirse durante las etapas de trabajo de campo intermedia y final del proyecto (ejemplo determinación de demanda biológica de oxígeno, grasas y aceites, etc.).

Montos aproximados: \$12.500

4.1 Orígen de los fondos solicitados

Institución	% Financiamiento
UNLaM	100%
Otros (indicar cuál)	-



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

Departamento:
Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas

Programa de acreditación:
CyTMA2

Programa de Investigación:

Código del Proyecto: C2-ING-098

Título del proyecto: Aplicación del análisis de ciclo de vida exergético a la recuperación de energía de residuos orgánicos industriales en La Matanza

PIDC:

Elija un elemento.

PII:

Elija un elemento.

Director: Herrería, Elisabeth Ruth

Director externo: -

Codirector: Carucci, Juan

Integrantes: Vidal, Mauro Hernán Ricardo

Investigador Externo, Asesor- Especialista, Graduado UNLaM:

Alumnos de grado: Jurado, Vanina Gabriela (Beca UNLaM)

Alumnos de posgrado: -

Resolución Rectoral de acreditación: N° N°560/22

Fecha de inicio: 01/01/2022

Fecha de finalización: 31/12/2023



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

A. Desarrollo del proyecto

A.1. Grado de ejecución de los objetivos inicialmente planteados, modificaciones o ampliaciones u obstáculos encontrados para su realización (desarrolle en no más de dos (2) páginas)

Se presenta una síntesis de las actividades programadas en el Gantt en función de los objetivos específicos referidos al período correspondiente a este informe.

Objetivo específico 4. Actividad 1:

- Se identificó al proceso de elaboración de levaduras de la empresa Lesaffre S.A. como el caso de estudio real dado que la referida empresa había aceptado en principio brindar los datos requeridos y había pactado permitir realizar una visita técnica para evaluar sus flujos residuales. Para avanzar con la definición del sistema bajo estudio del caso real, se contactó numerosas veces al área del canal de comunicación de la citada empresa, no obteniendo repuestas concretas y precisas para poder avanzar. Dado los plazos establecidos en el Gantt, se decidió empezar a definir el alcance del caso de estudio hipotético de los flujos residuales de línea roja del proceso de faenamiento de ganado bovino, mientras se continuaba realizando los contactos y los recordatorios a dicha empresa. Al no haber recibido ninguna respuesta del pedido de información al ACUMAR sobre caracterización de los flujos residuales en cuestión, se procedió a identificar un caso genérico de biodigestión para los referidos flujos residuales. A la par que se avanzaba con el estudio de caso hipotético, se consideró la oportunidad de considerar a los rezagos de PVB como caso real de estudio a partir que se conoce su composición química y que, en principio, se podía acceder a datos primarios brindados por la empresa interesada en evaluar el impacto de su disposición final a partir del cambio legal por el Decreto del Poder Ejecutivo Nacional No. 70 del 9 de Febrero de 2023.

Asimismo, se planteó que el propósito del estudio de caso de PBV sería entonces verificar si la utilización de los rezagos de este material es ambientalmente menos perjudicial que su disposición final en un relleno sanitario de seguridad. Considerando que el propósito de los objetivos específicos 5 y 6 replanteados era comparar el alcance del enfoque exergético aplicado al ACV y evaluar en qué permite este enfoque mejorar la evaluación del impacto ambiental en términos de eficiencia exergética como medida de sustentabilidad en comparación con el ACV tradicional, se decidió tomar exclusivamente al estudio de caso hipotético previamente identificado para delimitar su alcance y así definir la fase 1 del ACV.

Objetivo específico 5 replanteadado. Actividades 1.1; 1.2; 2.1 y 2.2:

- Se desarrolló un organizador bibliográfico colaborativo en el OneDrive del equipo de trabajo para sistematizar, sintetizar y realizar comentarios de la selección bibliográfica aplicada al desarrollo del objetivo específico 5 replanteadado.

- Se realizó el análisis del flujo exergético del caso de estudio hipotético tal como se presenta en el artículo presentado en el COINI 2023, y que prontamente será publicado en el libro de trabajos del referido congreso.

Objetivo específico 6 replanteadado. Actividad 1:

- Se desarrolló la fase 2 del ACV y se evaluó el alcance de realizar el inventario del ciclo de vida (ICV) de los flujos de entrada y salida del caso de estudio hipotético tanto por la metodología convencional del ACV como del enfoque exergético. A la vez que se evaluó las implicaciones de ambas metodologías en las fases de la evaluación del inventario de ciclo de vida (EICV) y la interpretación de los resultados observados como se explica en el referido artículo.

Actividad ad-hoc 3 del proyecto:



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

- Se elaboró una base de datos de los potenciales contactos en el marco del plan de relaciones con grupos de investigación afines externos, se confeccionó un modelo de nota y se diseñó un proceso comunicacional para efectuar los contactos. No obstante, el proceso de contactos realizado careció de recepción, lo cual impidió avanzar con esta actividad ad-hoc.

Actividad ad-hoc 4 del proyecto:

- Se elaboró el artículo que se adjunta en este informe a modo de plasmar el trabajo realizado desde el primer año de ejecución de este proyecto y como una forma de reflexionar sobre lo aprendido y hacia dónde ha llevado este aprendizaje. Tal como se citó precedentemente, el referido artículo fue presentado en el COINI 2023 en la Facultad Regional San Nicolás de la UTN, habiéndose conseguido un dictamen muy favorable en el proceso de evaluación a doble ciego. Si bien el libro de resúmenes ha sido publicado digitalmente, se está a la espera de su publicación oficial en el libro de trabajos aceptados para publicación.

B. Principales resultados de la investigación

B.1. Publicaciones en revistas (informar cada producción por separado)

Artículo 1:	
Autores	
Título del artículo	
N° de fascículo	
N° de Volumen	
Revista	
Año	
Institución editora de la revista	
País de procedencia de institución editora	
Arbitraje	Elija un elemento.
ISSN:	
URL de descarga del artículo	
N° DOI	

B.2. Libros

Libro 1	
Autores	
Título del Libro	
Año	
Editorial	
Lugar de impresión	
Arbitraje	Elija un elemento.
ISBN:	
URL de descarga del libro	
N° DOI	

B.3. Capítulos de libros

--



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

Autores	<i>Herrería, E; Carucci, J; Vidal, M; Jurado, V</i>
Título del Capítulo	<i>La aplicación de la exergía al análisis de ciclo de vida. Un enfoque integrador para la medición de la sustentabilidad</i>
Título del Libro	<i>Libro de resúmenes del XVI Congreso Internacional de Ingeniería Industrial – COINI 2023</i>
Año	2023
Editores del libro/Compiladores	<i>San Nicolás UTN, F. R., & AACINI, A. A. de C. de I. I. y afines</i>
Lugar de impresión	<i>Digital</i>
Arbitraje	SI
ISBN:	<i>ISSN 2683-8818</i>
URL de descarga del capítulo	https://rtyc.utn.edu.ar/index.php/ajea/issue/view/75
N° DOI	https://doi.org/10.33414/ajea.1316.2023

B.4. Trabajos presentados a congresos y/o seminarios

Autores	<i>Herrería, E; Carucci, J; Vidal, M; Jurado, V</i>
Título	<i>La aplicación de la exergía al análisis de ciclo de vida. Un enfoque integrador para la medición de la sustentabilidad</i>
Año	2023
Evento	<i>XVI COINI 2023 – Congreso Internacional de Ingeniería Industrial</i>
Lugar de realización	<i>San Nicolás de los Arroyos</i>



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

Fecha de presentación de la ponencia	03/11/2023
Entidad que organiza	AACINI - UTN FRSN
URL de descarga del trabajo (especificar solo si es la descarga del trabajo; formatos pdf, e-pub, etc.)	<i>e-pub pendiente por parte del organizador.</i>

B.5. Otras publicaciones

Autores	
Año	
Título	
Medio de Publicación	

C. Otros resultados. Indicar aquellos resultados pasibles de ser protegidos a través de instrumentos de propiedad intelectual, como patentes, derechos de autor, derechos de obtentor, etc. y desarrollos que no pueden ser protegidos por instrumentos de propiedad intelectual, como las tecnologías organizacionales y otros. Complete un cuadro por cada uno de estos dos tipos de productos.

C.1. Títulos de propiedad intelectual. Indicar: Tipo (marcas, patentes, modelos y diseños, la transferencia tecnológica) de desarrollo o producto, Titular, Fecha de solicitud, Fecha de otorgamiento

Tipo	Titular	Fecha de Solicitud	Fecha de Emisión

C.2. Otros desarrollos no pasibles de ser protegidos por títulos de propiedad intelectual. Indicar: Producto y Descripción.

Producto	Descripción

D. Formación de recursos humanos. Trabajos finales de graduación, tesis de grado y posgrado. Completar un cuadro por cada uno de los trabajos generados en el marco del proyecto.

D.1. Tesis de grado

Director (apellido y nombre)	y Autor (apellido y nombre)	Institución	Calificación	Fecha /En curso	Título de la tesis

D.2 Trabajo Final de Especialización

Director	Autor (apellido y nombre)	Institución	Calificación	Fecha /En	Título del Trabajo



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

(apellido y nombre)	y nombre)			curso	Final

D.2. Tesis de posgrado: Maestría

Director (apellido y nombre)	y Tesista (apellido y nombre)	Institución	Calificación	Fecha /En curso	Título de la tesis

D.3. Tesis de posgrado: Doctorado

Director (apellido y nombre)	y Tesista (apellido y nombre)	Institución	Calificación	Fecha /En curso	Título de la tesis

D.4. Trabajos de Posdoctorado

Director (apellido y nombre)	y Posdoctorando (apellido y nombre)	Institución	Calificación	Fecha /En curso	Título del trabajo	Publicación

E. Otros recursos humanos en formación: estudiantes/ investigadores (grado/posgrado/ posdoctorado)

Apellido y nombre del Recurso Humano	Tipo	Institución	Período (desde/ hasta)	Actividad asignada
Carucci, Juan	Maestrando	UNQUI	01/01/2023-31/12/2023	Construir junto a la directora del proyecto el inventario de las entradas y salidas del ACV para ambos métodos aplicados al estudio de caso hipotéticos seleccionado. Evaluar junto a la directora del proyecto las implicaciones de ambos métodos para la medición de la sustentabilidad en el marco



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

				del estudio de caso hipotético seleccionado. Elaborar síntesis críticas de la bibliografía utilizada, manejar referencias bibliográficas, desarrollar redacción científica.
Vidal, Mauro Hernán Ricardo	Maestrando	UNQUI	01/01/2022-31/12/2022	Gestionar el programa de comunicación para vinculación con empresa identificada para el estudio de caso real y con ACUMAR. Investigar junto con el co-director metodologías de análisis de flujo exergético. Elaborar síntesis críticas de la bibliografía utilizada, manejar referencias bibliográficas, desarrollar redacción científica. Asistir a la becaria en la evaluación de métodos de análisis exergético. Elaborar síntesis críticas de la bibliografía utilizada, manejar referencias bibliográficas, desarrollar redacción científica.
Jurado, Vanina Gabriela	Becaria UNLaM	UNLaM	01/01/2022-31/12/2022	Cumplimentar su plan de trabajo de beca. Desarrollar la gestión comunicacional para vinculación con grupos de investigación externos. Colaborar con la estructura del ar-



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

				título de investigación. Elaborar síntesis críticas de la bibliografía utilizada, manejar referencias bibliográficas, desarrollar redacción científica.
--	--	--	--	--

F. Vinculación:

Tal como ha sido indicado, la vinculación con la empresa Lesaffre S.A., elaboradora de levaduras y generadora de ROIs, no resultó viable en este segundo año de ejecución del proyecto por los motivos explicados previamente. En cuanto a los contactos con la Autoridad de Cuenca Matanza-Riachuelo (ACUMAR) para presentar al análisis exergético como una metodología novedosa para el ACV y obtener datos secundarios de caracterización de flujos residuales de línea roja del proceso de faenamiento de ganado bovino, tampoco se obtuvo respuesta alguna al pedido de información. No obstante, cabe señalar que la Secretaría de Ciencia y Técnica de UNLaM seleccionó el presente proyecto para ser postulado al Banco Nacional de Proyectos de Desarrollo Tecnológico y Social (PDTs), siendo el único proyecto elegido del departamento en donde se encuentra acreditado el mismo. Si bien se aceptó la invitación, la empresa Lesaffre S.A. no remitió respuesta alguna cuando se le comunicó el interés en que la misma aceptara ser la empresa adoptante, requiriendo tan solo firmar una nota sin ningún tipo de vinculación económica, financiera, técnica y legal. Dado que se habían iniciado contactos con la empresa Pilkinton Argentina S.A. por su interés en la evaluación ambiental de sus rezagos a partir del citado marco legal, se iniciaron contactos con esta empresa para ser la adoptante del proyecto. Cabe indicar que se había obtenido el aval de la Secretaría de Investigación del DIIT para efectuar esta adopción teniendo en cuenta el cambio de tipo de residuo. Después de intentar varias veces conseguir la firma de la nota y explicar que para la empresa no suponía ningún tipo de vinculación legal ni financiera ni económica, se decidió no proseguir con este proceso de adopción. Por otra parte y considerando que el referido banco de proyectos PDTs es de ventanilla abierta, se recibió en el último trimestre un mensaje de la Unidad de Vinculación perteneciente a la Secretaría de Ciencia y Técnica UNLaM de la posibilidad de entrar en contacto con un potencial adoptante para ingresar al Banco PDTs. Después de evaluar la factibilidad operativa de iniciar este proceso de adopción para ingresar en el citado banco en los plazos vigentes del proyecto, se decidió que resultaría inviable alcanzar los objetivos apropiados para esta potencial adopción.

En cuanto a la empresa Pilkinton Argentina S.A., se avanzó con los contactos que finalmente se plasmaron en que sus flujos residuales serán el caso real para validar la metodología de ACVx desarrollada en el estudio de caso hipotético de este proyecto a fin de evaluar el potencial de su circularidad y el contexto de su situación legal, constituyéndose así en la problema de investigación del nuevo proyecto de investigación de este equipo trabajo.

G. Otra información. Incluir toda otra información que se considere pertinente.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

Se continuó con el registro documental colaborativo del proyecto creado en el OneDrive de la UNLaM a fin de que todos los integrantes tengan acceso en tiempo real a la información de los avances y de la documentación pertinente a todos los aspectos relativos a la ejecución del proyecto.

Se continuó con las reuniones de equipo con agenda de ítems a trabajar y posterior registro en minutas de reunión a modo de bitácora de la ejecución del proyecto.

H. Cuerpo de anexos:

- Anexo I: Copia de cada uno de los trabajos mencionados en los puntos B, C y D, y certificaciones cuando corresponda.
- Anexo II:
 - FPI-013: Evaluación de alumnos integrantes. (si corresponde)
 - FPI-014: Comprobante de liquidación y rendición de viáticos. (si corresponde)
 - FPI-015: Rendición de gastos del proyecto de investigación acompañado de las hojas foliadas con los comprobantes de gastos.
 - FPI-035: Formulario de reasignación de fondos en Presupuesto.
- Nota justificando baja de integrantes del equipo de investigación.

Elisabeth R. Herrería

Firma y aclaración
del director del proyecto.

Lugar y fecha: San Justo, 20 de Febrero 2024

- Cargar este formulario junto con los documentos correspondientes **exclusivamente** al Anexo I en SIGEVA UNLaM.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

Anexo 1



La aplicación de la exergía al análisis de ciclo de vida. Un enfoque integrador para la medición de la sustentabilidad

Elisabeth Ruth Herrería, Juan Carucci, Mauro Hernán Ricardo Vidal y Vanina Gabriela Jurado

eherreria@unlam.edu.ar
Universidad Nacional de la Matanza
Argentina

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo demostrar por qué la aplicación de la exergía a la metodología del análisis del ciclo de vida permite evaluar más integralmente la utilización de los recursos energéticos y no-energéticos consumidos en diversos procesos de reconversión energética. Por otra parte, la exergía puede ser considerada como un valor físico de un recurso, pudiendo cuantificarse y así presupuestar el alcance de los requerimientos para conocer qué tan eficiente exergéticamente resulta ser el consumo de energía y materia en determinados procesos. Así pues, se expone en primer lugar cómo se relaciona la exergía con la medición de la sustentabilidad. A continuación, se presenta cuáles resultan ser las limitaciones metodológicas en el análisis de ciclo de vida, y por ende, sus implicaciones para la medición de la sustentabilidad en términos de impacto ambiental. Posteriormente, se evalúa el alcance del enfoque exergético aplicado al análisis del ciclo de vida en el caso de estudio hipotético de un frigorífico bovino, y en simultáneo, qué permite mejorar en la medición de la sustentabilidad. Por último, se reflexiona sobre cómo la incorporación de la exergía a la metodología del análisis de ciclo de vida proporciona un enfoque integrador para avanzar en la evaluación de los impactos ambientales en términos de recuperación de eficiencia exergética y como medida de sustentabilidad, respondiendo así a un orden de cosas sujetas a transformaciones entrópicas.

Palabras clave: Exergía – Análisis de ciclo de vida – Evaluación de impactos ambientales

Código: CO23-B08

La aplicación de la exergía al análisis del ciclo de vida. Un enfoque integrador para la medición de la sustentabilidad

Herrería, Elisabeth Ruth; Carucci, Juan; Vidal, Mauro Hernán Ricardo; Jurado, Vanina Gabriela

Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas, Universidad Nacional de La Matanza.
eherreria@unlam.edu.ar, jcarucci@unlam.edu.ar, mvidal@unlam.edu.ar, vjurado@alumno.unlam.edu.ar

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo demostrar por qué la aplicación de la exergía a la metodología del análisis del ciclo de vida permite evaluar más integralmente la utilización de los recursos energéticos y no-energéticos consumidos en diversos procesos de reconversión energética. Por otra parte, la exergía puede ser considerada como un valor físico de un recurso, pudiendo cuantificarse y así presupuestar el alcance de los requerimientos para conocer qué tan eficiente exergéticamente resulta ser el consumo de energía y materia en determinados procesos. Así pues, se expone en primer lugar cómo se relaciona la exergía con la medición de la sustentabilidad. A continuación, se presenta cuáles resultan ser las limitaciones metodológicas en el análisis de ciclo de vida, y, por ende, sus implicaciones para la medición de la sustentabilidad en términos de impacto ambiental. Posteriormente, se compara el alcance del enfoque exergético aplicado al análisis de ciclo de vida para un caso hipotético de biodigestión de un flujo residual del faenamiento de ganado bovino, a fin de evaluar qué permite mejorar para la medición de sustentabilidad. Por último, se reflexiona sobre cómo la integración de la exergía a la metodología del análisis de ciclo de vida proporciona un enfoque integrador para avanzar en la evaluación de los impactos ambientales en términos de recuperación de eficiencia exergética y como medida de sustentabilidad, respondiendo así a un orden de cosas sujetas a transformaciones entrópicas.

Palabras Claves: Exergía, análisis ciclo de vida, evaluación impactos ambientales, sustentabilidad.

ABSTRACT

The present work aims to demonstrate why the application of exergy to the life cycle assessment methodology enables a more comprehensive evaluation of the utilization of both energy and non-energy resources consumed in various energy conversion processes. Moreover, exergy can be considered a physical value of a resource that can be quantified to budget the extent of requirements needed to determine how exergetically efficient the consumption of energy and materials is in specific processes. Therefore, it is first explained how exergy relates to sustainability assessment. Next, the methodological limitations in life cycle analysis are presented, along with their implications for sustainability measurement in terms of environmental impact. Subsequently, it compares the scope of the exergetic approach applied to life cycle analysis for a hypothetical case of anaerobic bio digestion of residual flow from cattle butchering to evaluate its potential improvements in sustainability measurement. Finally, there is a reflection on how the integration of exergy into the life cycle assessment methodology provides a comprehensive approach to make progress in the evaluation of environmental impacts in terms of exergetic efficiency recovery and as a measure of sustainability thus responding to issues subject to entropic transformations.

Keywords: Exergy, life cycle analysis, environmental impact assessment, sustainability.

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se basa en un proyecto de investigación en curso, cuyo objetivo es evaluar a partir de un caso de estudio hipotético de biodigestión del flujo residual de la línea roja del faenamiento de ganado bovino, cómo la aplicación del análisis de ciclo de vida exergético (ACVx) permite identificar mejor los potenciales impactos ambientales del proceso de reconversión energética de residuos orgánicos industriales generados localmente en comparación con el análisis de ciclo de vida (ACV) en términos de eficiencia exergética. Así pues, el núcleo del problema a investigar surge de extender la tradicional metodología del ACV, estandarizada en las normas ISO 14040:2006 y 14044:2006, al análisis exergético y su relación con la búsqueda de un manejo sustentable de procesos de reconversión energética para afrontar la denominada transición ecológica, paradigma emergente.

La metodología del ACV basada en los estándares de las normas ISO 14001:2006 y 14044:2006 se erige en una herramienta que permite evaluar los potenciales impactos ambientales asociados a procesos productivos y tecnológicos, productos y servicios con el propósito de cuantificar la sustentabilidad de los mismos y brindar un marco de referencia empírico para diferentes fines tales como eco-diseño, eco-etiquetado, descarbonización, reducción de agentes tóxicos, etc., asociados a la agenda de la eco-innovación y los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS). No obstante, la metodología del ACV no se encuentra exenta de ciertos problemas dado que, si bien supone analizar un orden de cosas sujetas a cambio cualitativo, su puesta en práctica debe sortear precisamente una serie de cuestiones inherentes a cuantificar lo que esencialmente ocurre como transformaciones entrópicas. Así pues, la incorporación del enfoque exergético a la metodología del ACV presentaría ventajas relativas a los inconvenientes que se presentan en el proceso de caracterización y valorización de los factores de los recursos energéticos y no-energéticos, recursos que difícilmente pueden ser medidos por una misma unidad de medida en la metodología convencional del ACV.

2. EXERGÍA Y SU RELACIÓN CON LA SUSTENTABILIDAD.

En esta sección se aborda la aplicación de la exergía como unidad de medida del ACV, especialmente, orientado a los flujos residuales de los procesos productivos. Su interrelación con el concepto de sustentabilidad ambiental surge a partir de la necesidad de evaluar los impactos ambientales producidos por los residuos generados durante los procesos productivos concernientes. Orientando el enfoque del análisis en función del desarrollo sustentable, que considera el triple resultado de desarrollo económico, social y con la protección del medio ambiente, bajo este paradigma de análisis se consideran los recursos invertidos en el tratamiento y/o la recuperación de los residuos utilizando la exergía como una medida de su eficiencia e indicador de la degradación de la calidad de los recursos. Además, se vincularán estos conceptos con la aplicación en un caso de estudio hipotético de biodigestión de un flujo residual proveniente del faenamiento de ganado bovino.

Por un lado, la necesidad de cuantificar la cantidad de energía requerida en los flujos residuales de un proceso industrial plantea tomar un indicador que sea comparable y medible para las corrientes y sustratos principales que caractericen la transformación de su energía y calidad. Para ello, resulta relevante valerse de los principios de la termodinámica para sustentar la cuantificación y medición de la calidad de la energía asociada al tratamiento de los flujos residuales, particularmente, en el caso hipotético de estudio. El concepto de exergía se basa en la primera ley de la termodinámica explicándose en el principio de conservación de la energía que establece que nada desaparece porque la energía no se crea ni se destruye, y en la segunda ley, relacionada con la calidad de la energía, que trata específicamente de la degradación de la energía durante un proceso.

La aplicación de la exergía como unidad de medida única y comparable para los distintos flujos de residuos es de gran importancia. Según propone Jaimes M. et al. (2012) la utilización del balance de exergía en un proceso productivo “es considerada una herramienta de estudio y diagnóstico de sistemas, útil en el diseño de soluciones alternativas que busquen reducir la utilización innecesaria de recursos, y por ende los impactos potenciales generados por la misma, orientando así hacia la búsqueda del desarrollo sostenible” (Jaimes M. et al., 2012).

En cuanto al concepto de exergía, los estudios surgen a mediados del siglo XX, focalizándose en las aplicaciones energéticas y de eficiencia de procesos de producción. De igual forma, la investigación desarrollada a partir desde esta época es continuada en este sentido; sin embargo, esos estudios no incluyen sistemas de aguas residuales (Ibagón-Gutiérrez, 2021:171). No obstante, cabe destacar que resulta sustancial el aporte potencial de evaluar la degradación en la calidad de los recursos, energéticos y no energéticos, dado que “cuando hay irreversibilidades presentes durante el proceso, entonces parte del potencial de generar trabajo que existía originalmente es disipado.” (Jaimes M. et al., 2012) entendiendo esta disipación como pérdida de trabajo útil, lo cual es posible su medición en una unidad común para todos los recursos. Más precisamente, se puede definir el concepto de exergía como un trabajo potencial del sistema cuando está llegando al equilibrio con el medio ambiente (Szargut, 2005; Ignatenko et al., 2007).

Asimismo, para la recuperación de recursos a partir de residuos es de mayor difusión la aplicación de dos enfoques metodológicos para la contabilidad de recursos en el análisis de exergía y definiciones de sistemas. Por un lado, el enfoque de mapear todos los flujos y pérdidas de exergía dentro del sistema bajo investigación denominado "análisis de flujo de exergía", y el enfoque de contabilidad de exergía siguiendo los principios de evaluación del ACVx mediante la aplicación de indicadores a los materiales y recursos incluidos en el sistema (Laner et al., 2015:654), siendo esta última metodología la que se desarrollará en este trabajo.

Sobre la aplicación de la exergía como unidad común de medida, diversos autores plantean metodológicamente la demanda acumulada de exergía, con relación al ciclo de vida de un producto. Se propone como indicador “*Cumulative Exergy Demand (CExD)*” que se especifica en MJ-eq. como la sumatoria de exergía de todos los recursos intervinientes para proporcionar un proceso o producto. De igual forma, se plantea la CExD por unidad de producto, dividiendo el requerimiento total de exergía por el número de salidas de la unidad durante este período de tiempo (Bösch et al., 2007:182). Esto permite el cálculo del requerimiento de recursos a partir de las bases de datos del ciclo de vida como Ecoinvent con un enfoque específico del producto. Asimismo, esta metodología brinda la posibilidad de contemplar como recurso para cálculo en las distintas categorías de CExD el agua, la biomasa y los recursos renovables, en comparación con CML'01 (*the abiotic-resource-depletion category of CML 2001*) y Eco-indicator 99, que no contemplan estos recursos o en las categorías CED (demanda acumulada de energía) que sí evalúa la biomasa, pero no el agua (Bösch et al., 2007:181). Por otra parte, el indicador CExD incluye la calidad de la energía y los materiales no utilizados energéticamente, siendo fácilmente calculable los valores de exergía para los recursos con composición conocida.

De igual forma, diversos autores basan la metodología en el reconocimiento que la exergía acumulada ocurre en forma de energía química, térmica, cinética, potencial, nuclear y radiactiva (Szargut, 2005; Bösch et al., 2007; Ignatenko et al., 2007; Jaimes M. et al., 2012) incluida en los recursos evaluados, considerando las formas de energía relevantes asociadas a la utilización de cada recurso. Por lo tanto, algunas variantes en la aplicación y clasificación de esta metodología dependerán de los recursos intervinientes y de los procesos evaluados.

Por su parte, Ignatenko (2007) propone estimar la sostenibilidad del rendimiento de los sistemas utilizando como indicador la eficiencia de los recursos, así como la recuperación de eficiencia; donde toma como herramienta de análisis exergético la eficiencia en el uso de los recursos, calculada como este sistema total. Determinando la exergía del sistema como:

$$E = (U - U^{eq}) + p^0 \cdot (V - V^{eq}) - T_0 (S - S^{eq}) - \sum_c \mu_c^0 (n_c - n_c^{eq}) \quad (1)$$

Donde E refiere al valor de exergía del sistema, U , V y S son la energía, el volumen y la entropía del sistema; U^{eq} , V^{eq} y S^{eq} la energía, el volumen y la entropía del sistema en equilibrio con el entorno; p^0 y T_0 el presión y temperatura del ambiente; μ_c^{eq} es el potencial químico en el equilibrio con el medio ambiente (estado de referencia); n_c y n_c^{eq} son la concentración del componente c y en el equilibrio con el ambiente.

De una forma más general, Jaimes M. et al. (2012) consideran que se pueden clasificar las pérdidas de exergía, entre pérdidas externas (productos de desecho, pérdida de calor y pérdidas en la conversión de exergía) y pérdidas internas (pérdida en la calidad de la exergía dado el aumento de entropía del sistema). En el cálculo del balance de exergía para un proceso estacionario, estos últimos autores definen el balance total de exergía en estado estacionario como la exergía que entra al sistema igualándola a las exergías que salen sumado a las que se destruyen y se pierden del sistema, siendo de mayor utilidad en procesos continuos estacionarios.

$$E_{entra} = E_{sale} + E_{pierde} + E_{destruye} \quad (2)$$

Donde E refiere al valor de exergía del sistema.

En cuanto al desarrollo e investigación en Latinoamérica sobre la aplicación de la exergía, como unidad de medida, se ha centrado en la evaluación de combustibles energéticos y eficiencia de procesos de producción energética, siguiendo las líneas de investigación iniciales, siendo aún incipiente su aplicación a flujos residuales en la referida región (Ibagón-Gutiérrez, 2021:171.). Por otra parte, la aplicación de la exergía, como unidad de medida, viene siendo observada como estrategia de investigación regional para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en el tratamiento de flujos residuales, fundamentalmente para la reducción de contaminantes y mejora de la calidad del agua; esto se debe a factores socioeconómicos, desarrollo agrícola e industrial, crecimiento de la población y la baja atención social y política que generan un incremento sobre la carga y el volumen de contaminación de las aguas residuales (Ibagón-Gutiérrez, 2021:171). Este tipo de análisis exergético proporciona las herramientas de cálculo para determinar la sostenibilidad de sistemas de aguas residuales, además, este trabajo representado en el concepto de exergía podría convertirse en energía utilizada para los sistemas de aguas residuales y otros procesos.

Lo abordado hasta aquí, sugiere que, en la evaluación de los recursos asociados a flujos residuales de un proceso industrial, la inclusión de metodologías que consideran la exergía como unidad de medida totalizante permitirá contemplar tanto recursos energéticos como no energéticos, para los que se conozca su composición. Esto corresponderá en la consideración de la inclusión de recursos como ser el agua, la biomasa o las energías renovables con mayor facilidad en el cálculo del ACVx y el desarrollo de su potencial para determinar la sostenibilidad de sistemas de flujos residuales.

3. LIMITACIONES METODOLÓGICAS EN EL ACV. IMPLICACIONES PARA LA MEDICIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD.

Si en la anterior sección, se plantearon ciertas consideraciones metodológicas asociadas a la exergía como medida de sustentabilidad de recursos energéticos y no-energéticos, entonces, resulta apropiado interpelar epistemológicamente la metodología del ACV para comprender por qué la aplicación de la exergía al ACV viene a resolver ciertas limitaciones metodológicas a la medición de la sustentabilidad.

Convencionalmente y en base a los requisitos y directrices señalados en la Norma IRAM-ISO 14044:2008, un estudio de ACV presenta 4 fases: 1) la definición del objetivo y el alcance, en donde se define cuál es el propósito y qué se pretende analizar; 2) el análisis del inventario del ciclo de vida, en donde se realiza un inventario para calcular las entradas y salidas del sistema bajo estudio; 3) la evaluación del impacto ambiental, en donde se evalúan los impactos ambientales significativos en base a ciertas categorías de impacto ambiental, y 4) la interpretación de los resultados hallados.

Considerando que la primera fase de la referida metodología comprende definir los límites del sistema de un producto o procesos en estudio, resulta plausible comprender que establecer los límites de un sistema de referencia en un estudio de ACV se presenta en la práctica como viajar desde un Todo sin costuras a una porción de ese Todo, porque se otorga esencialidad a la intencionalidad representada en ese ámbito de estudio. Así pues, la delimitación tanto del sistema de referencia como de la unidad funcional del sistema en estudio conduce necesariamente a preguntarse acerca de cuál es el propósito perseguido.

Entonces, preguntarse acerca de la relevancia del propósito, subyacente en la identificación de los límites del sistema en el contexto de un estudio de ACV, conlleva a interrogarse acerca de las complejidades que supone delimitar analíticamente un proceso. Así pues, todo proceso denota cambio cualitativo, y todo cambio cualitativo se ubica en el orden de lo dialéctico. Por lo tanto, un orden dialéctico representa un desafío epistemológico a superar dado que sin posibilidad de describir analíticamente la variedad de procesos en que deviene, por ejemplo, la reconversión energética de residuos orgánicos industriales (ROIs), no es posible comprender los cambios que acontecen para que tal acontecimiento suceda, vale decir la obtención de energía a partir de ROIs.

De igual forma, la definición de los límites en la primera fase de un ACV también se asocia con la consideración epistemológica de cómo no caer en una regresión infinita y al mismo tiempo poder saber qué se puede conocer de aquello que está siendo transformado. En el caso de la reconversión energética de ROIs, ¿cómo saber qué parte del *todo* interesa delimitar analíticamente si no se ha otorgado un propósito analítico al mismo? En este caso, el Todo incluiría desde los recursos energéticos y no energéticos consumidos en el mismísimo proceso de generación de ROIs hasta en qué coordenadas espaciales y temporales se consume por ejemplo el biogás obtenido de esos ROIs. Pero si no hay un propósito analítico resultaría lo mismo establecer un límite analítico para ese Todo, lo cual en definitiva sería una imposibilidad analítica y, por ende, no poder conocer en qué deviene aquello que se transforma y que sí interesa conocerse.

En cuanto a la segunda fase del ACV, la realización de un análisis de inventario del ciclo de vida (ICV) implica definir en términos analíticos qué elementos entran y salen del límite del sistema de referencia en estudio, de modo de adentrarse en el procedimiento de realizar su cuantificación en un intervalo de tiempo que denota que el fenómeno en estudio se sujeta analíticamente a una duración que discretamente posee inicio y fin.

Asimismo, esta fase, a la vez, puede ser interpretada como un fenómeno dialéctico porque denota cambio de cualidades, pero y a pesar de que se está en un plano del orden de lo cualitativo, necesita en términos analíticos integrarse en un solo modelo formal, siendo precisamente el ICV de las entradas y salidas del proceso. De tal manera que los flujos de ingreso y egreso conforman el límite del proceso en un intervalo de tiempo, que al tener un principio y un fin expresan irreversibilidad, y lo que pretende cuantificarse es precisamente una serie de transformaciones entrópicas de lo que ocurre cuando los flujos no-energéticos y energéticos, que tanto entran o salen de aquello que está siendo transformado, cambian de cualidades como la calidad del flujo de salida del agua en un proceso de digestión anaeróbica de ROIs.

De ahí que el proceso de construcción del ICV, cuando se pone en práctica, resulta ser extremadamente complejo, requiriéndose apelar a estrategias de simplificación recientemente debatidas por Beemsterboer et al. (2020). Por ende, en la práctica, el procedimiento del inventario del ACV puede interpretarse como un fenómeno dialéctico que se va constituyendo en un esquema formal, y de tal forma, su propósito yace en elucidar analíticamente las cualidades de lo que entra y egresa, aunque no pueda dar cuenta verdaderamente de aquello que ha cambiado cualitativamente. Ahora bien, ¿por qué no *verdaderamente* verdadero?; porque la verdad propositiva va a venir dada por un orden que no se sujeta a cambios cualitativos, sino que a un orden en donde solo operan cambios que sí pueden ser sujetos plenamente a cuantificación, pero en tal caso no se estaría ante una representación real de lo que esencialmente no se sujeta al cambio cualitativo como lo es un proceso de reconversión energética.

Por lo tanto, las estrategias tanto de exclusión de determinados flujos como los enfoques semi cuanti-cualitativos (Heiskanen:2002; Hur et al.:2004; Moberg et al.:2014; Arzoumanidis et al.:2017; Beemsterboer et al.:2020) que permiten construir un ICV híbrido han de ser diferentes formas que implícitamente expresan la imposible proeza de aprehender en un solo modelo formal todas las transformaciones cualitativas ocurridas en los distintos procesos incluidos en un sistema bajo estudio.

Así las cosas, tanto la tercera como la cuarta fase de un ACV no están exentas de verse atravesadas por consideraciones epistemológicas. Fundamentalmente, la aplicación de estrategias de exclusión

de categorías de impacto ambiental debatidas frecuentemente en la fase de la evaluación de impactos en el ciclo de vida (EICV) y en la fase de interpretación del ciclo de vida (Bretz y Frankhause:1996; Fleisher et al.:2001; Hochschorner y Finneveden:2003; Cheng et al.:2018; van der Werf et al.:2020; Beemsterboer et al.:2020) reflejan cómo la subjetividad y la arbitrariedad interpelan los resultados obtenidos de acuerdo a cómo se ha podido medir ciertos fenómenos para los cuales no se ha aplicado una única medida.

Así pues, la metodología del ACV se ha visto cuestionada como herramienta para evaluar los impactos ambientales, precisamente por los niveles de subjetividad introducidos en las señaladas fases, emergiendo de esta forma la necesidad de aplicar un enfoque más riguroso (Bösch et al.:2007 y Nwodo y Anumba:2020), y reconociendo un marco termodinámico desde donde cuantificar la sostenibilidad de un sistema bajo estudio (Finnveden et al.:2016).

Las limitaciones señaladas abrieron el camino para introducir al análisis exergético como un método superador, no solamente como indicador del agotamiento de recursos, sino que principalmente como un enfoque que permite cuantificar en una misma unidad de medida los recursos energéticos y no-energéticos (Simpson y Edwards:2011; Morosuk et al.:2016). Por ende, el análisis de exergía puede ser empleado en la fase del ICV para medir en una misma unidad de medida los flujos de entrada y salidas, y evaluar con mayor objetividad los impactos ambientales en términos de recuperación de eficiencia exergética.

Considerando que la misma norma, señala que “no hay base científica para reducir los resultados del ACV a un único número o a una única puntuación global, ya que la ponderación requiere juicios de valor” (IRAM-ISO 14040:2008; pág. 143), entonces cabría evaluar en la próxima sección de este trabajo qué permite mejorar la aplicación del ACV_x a partir de un caso de estudio hipotético de biodigestión de un flujo residual del faenamiento de ganado bovino.

4. EL ENFOQUE EXERGÉTICO APLICADO AL ACV Y LA MEDICIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD.

En esta sección se compara el alcance del enfoque exergético aplicado al análisis de ciclo de vida para el caso hipotético de biodigestión de un flujo residual del faenamiento de ganado bovino para analizar cómo este enfoque permite mejorar la evaluación del impacto ambiental en términos de recuperación de eficiencia exergética como medida de sustentabilidad en comparación con el ACV. La elección del referido estudio de caso hipotético se basó en el siguiente proceso. Primero, se georreferenciaron establecimientos industriales en el área local para generar un mapa con una base de datos para identificar los flujos residuales de los ROIs más representativos por rama de actividad. Después, se clasificaron los establecimientos industriales georreferenciados al nivel de cuatro (4) dígitos de la Clasificación Industrial Internacional Uniforme Revisión 4 - CIIU Rev.4 (Naciones Unidas, 2009) y a nivel de seis (6) dígitos del Código del Listado Europeo de Residuos (Decisión 2014/955/UE). El empleo del referido código se basó en la inexistencia de una clasificación nacional o regional, optándose por utilizar este código como estándar ampliamente difundido a nivel global. Posteriormente, se procedió al entrecruzamiento de los datos según su correspondencia en el código LER y en función de las actividades basadas en el tercer dígito del CIIU Rev. 4 para identificar específicamente los flujos residuales más representativos locales. De este entrecruzamiento, se observó que un 32,3% corresponden a establecimientos de faenamiento de ganado bovino y un 23,5% a industrias farináceas. Luego, se optó por elegir el flujo residual de la denominada línea roja de las actividades de faenamiento de ganado bovino como flujo de entrada principal para la reconversión energética de este ROI, asumiendo un proceso genérico de degradación anaeróbica por medio de una biodigestión típica correspondiente al estado de arte en dicho proceso. Asimismo, se indica que el criterio para la elección de esta opción se basó en la alta variabilidad de los compuestos presentes en los flujos residuales de las industrias farináceas y que, a la vez, estos se destinan mayoritariamente a las chancherías locales.

Por consiguiente y entendiendo que el propósito de realizar este estudio de caso hipotético es validar en la fase del ICV la aplicación del enfoque exergético en comparación con el ACV convencio-

nal, se estableció que el objetivo principal de este estudio hipotético sería analizar el alcance del ACVx con respecto al alcance del ACV para validar la tesis de por qué la recuperación de eficiencia exergética resulta ser una medida más robusta para evaluar los impactos ambientales en un proceso genérico de digestión anaeróbica de la línea roja del faenamiento de ganado bovino. Por lo tanto, la unidad funcional y debido al carácter hipotético de este estudio podría establecerse en x cabeza faenadas de ganado bovino por mes o por día, siendo los límites del sistema bajo estudio los detallados en la Figura 1. De esta forma, se observa en la referida figura cómo el límite del entorno del sistema bajo estudio representa ese Todo indicado en la sección anterior y cómo el límite del sistema bajo estudio viene a representar el itinerario desde ese Todo sin costuras a una porción de ese Todo, estableciéndose así un límite analítico. Esta definición del objetivo y del alcance indicados, como asimismo la unidad funcional seleccionada y los límites del sistema, constituirían la fase 1 para este estudio de caso hipotético.

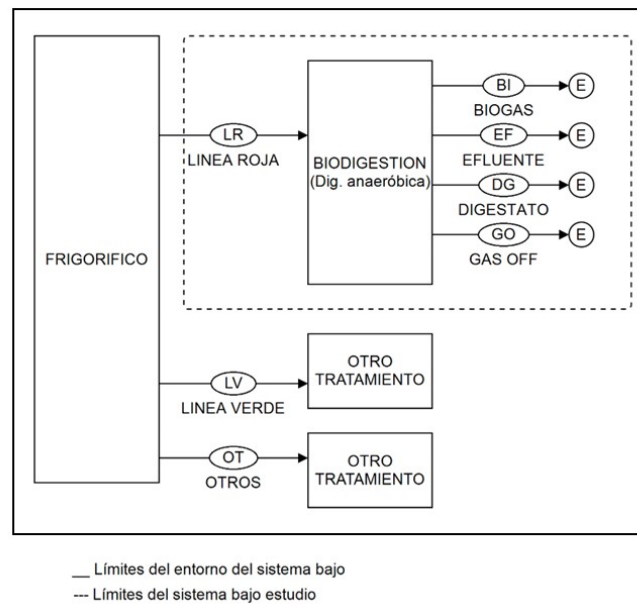


Figura 1 Límites del entorno del sistema y límites del sistema bajo estudio.

Tal como se señaló en la sección anterior, la fase del ICV denota cómo el cambio de cualidades de lo que entra y sale del sistema bajo estudio demanda en términos analíticos ser integrado en un modelo formal para cuantificar un orden de cosas cualitativas que de alguna manera necesitan un ordenamiento analítico, y así evaluar los potenciales impactos ambientales asociados a la reconversión energética de la mencionada línea residual de este estudio de caso hipotético. Así pues, la Tabla 1 presenta los principales compuestos del principal flujo de entrada al proceso de biodigestión según su valor exergético asociado y según su posible factor de caracterización por el cual resulta posible su cuantificación convencional. De igual manera, la Tabla 2 exhibe los principales compuestos de los flujos de salida del proceso de biodigestión en ambos métodos. Por ende, la construcción del ICV refleja la posibilidad de cuantificar de alguna manera las transformaciones entrópicas del referido proceso.

Considerando el propósito y el alcance definido en la fase 1, resulta conveniente en la fase del ICV evaluar el valor exergético asociado a cada línea de entrada y salida al proceso de biodigestión. Luego, resulta posible el análisis del flujo de exergía a través de la eficiencia de recuperación de recursos, según los planteado por Laner et al. (2015) como:

$$Resource\ recovery\ efficiency = \frac{Exergy(usable\ outputs)}{Exergy(inputs)} \quad (3)$$

Es decir, que dicha eficiencia Laner et al. (2015) la calcula dividiendo el contenido de exergía de los productos útiles por todos los insumos de exergía del escenario de tratamiento de residuos. En este caso de estudio hipotético, las primeras serían el biogás y el digestato (flujos de salida) y, siendo la segunda, la línea roja (flujo de entrada). Esto muestra las pérdidas de exergía en el sistema de

biodigestión, siendo estos procesos reales, por lo tanto, procesos irreversibles que provocan la destrucción de la exergía.

Para la definición del valor de exergía a partir de la ecuación 4 para sistemas estacionarios, al considerar en este caso individualmente entradas y salidas, la exergía del sistema puede definirse a partir de “dividirse en cuatro componentes: exergía física, cinética, potencial y química” (Jaimes et al.; 2012:64), según la ecuación:

$$E = E^f + E^p + E^c + E^q \quad (4)$$

Donde E refiere al valor de exergía del sistema, E^f refiere a la exergía física, E^p refiere a la exergía potencial, E^c refiere a la exergía cinética, E^q refiere a la exergía química.

Dado que en el caso de estudio hipotético las exergías cinéticas y potencial se consideran despreciables, dichos términos de la ecuación no se tienen en cuenta. Además, en referencia a la exergía física del sistema, tanto el flujo de entrada como flujos de salida sus condiciones son próximas al ambiente estable, donde el valor de la exergía química describe adecuadamente sus principales componentes.

Para caracterizar los componentes de los principales flujos de entrada y de salida, dado que el caso en estudio es hipotético, se consideró bibliografía desarrollada para el caso de balance de exergía, ACVx y evaluación energética de procesos de faena bovina. Es destacable que la variabilidad de los flujos residuales y el tratamiento de biodigestión es relevante y se debe tener en cuenta tanto el tipo de ganado bovino, así como, el proceso de faena y pretratamiento de residuos aplicado (FAO, 2011; Ware, 2016; Diaz, 2015). Por tal motivo, y dado que el motivo de este trabajo es validar la metodología y ventajas del ACVx respecto del ACV convencional, se consideran como principales compuestos representativos de la línea roja (flujo de entrada) los siguientes: lípidos, proteínas, carbohidratos y agua, donde el principal compuesto en dicho caso de estudio serán los lípidos de origen animal con alto valor exergético y potencial generación de metano (CH_4), así como, la aparición de carbohidratos en cantidad relevante dependerá del proceso de faena y la separación o no de la denominada línea verde.

Respecto a los flujos de salida, los identificados en el caso de estudio hipotético son el biogás, digestato, efluente y *gas-off*; los dos primeros de estos considerados como los flujos de productos útiles en la ecuación para eficiencia de recuperación de recursos. Para la determinación general de estos flujos, se utilizó la tabla 3 de Laner et al. (2015:658) donde se consideran los principales compuestos en base al trabajo sobre la aplicación del análisis del flujo exergético y la evaluación del ciclo de vida exergético en residuos vegetales y domésticos, que se detallan en la Tabla 2. Cabe mencionar que a esta caracterización se incluye dentro del *gas-off* la presencia de amoníaco (NH_3), dados los compuestos identificados en el flujo de entrada, y que los diversos procesos de biodigestión consultados en el proceso metanogénico producen en etapas intermedias la generación de compuestos que en su forma estable se puede caracterizar como amoníaco en estado gaseoso como parte de los gases liberados al ambiente (*gas-off*).

Ahora bien, se observa en ambas tablas que al aplicar el método exergético en el ICV resulta posible calcular en una misma unidad de medida el valor asociado a cada uno de los principales componentes tanto del flujo de entrada como de los flujos de salida. En contraste, se aprecia que en la metodología convencional surge una variedad de unidades de medida que no necesariamente proporcionan el valor propio de ese componente identificado. Esta variedad de unidades de medida se debe a que en la metodología convencional los compuestos tanto de las entradas como de las salidas se asocian a determinadas categoría de impacto ambiental, que se cuantifican en relación con una emisión por categoría de impacto. Por lo tanto, el principal compuesto es informado en términos relativos a una específica emisión, basándose en factores de ponderación que permiten expresar el potencial de determinada categoría de impacto ambiental en términos de equivalente de la sustancia o del compuesto específico para esa determinada categoría de impacto ambiental.

No obstante, cabe indicar que las categorías de impacto ambiental por las cuales se caracterizan los compuestos se distinguen según la escala espacial asociada a los efectos de esos impactos, clasifi-

cándose así en locales las categorías de eutrofización, acidificación y formación de ozono fotoquímico y en globales las categorías de cambio climático, agotamiento de ozono estratosférico, agotamiento de recurso bióticos y abióticos, entre otras categorías.

En principio, los factores de caracterización de aquellas categorías de impacto ambiental global podrían resultar más objetivos, asumiendo que los efectos del potencial de calentamiento global, el agotamiento de la capa de ozono y de los recursos bióticos y abióticos se distribuyen por igual a escala global. Sin embargo, suponer que los potenciales impactos afectan de igual manera a diferentes áreas geográficas resultaría desdeñar la variabilidad de esos impactos a escala local y/o regional. El caso testigo evidente sería la diferencia entre el estado de situación de la capa de ozono en el hemisferio sur en comparación con el hemisferio norte.

Habiendo realizado estas consideraciones, se evidencia al observar la última columna de las tablas 1 y 2 que en el ACV tradicional el proceso de cuantificación de los flujos de entrada y salida se vuelve menos objetivo y robusto para aquellos compuestos asociados a categorías de impactos ambientales locales, tales como la acidificación y la eutrofización, debido a que se requerirían calcular los factores de caracterización de estas categorías de impacto ambiental locales en base a modelos que introducen sesgos, debido a que se emplearían criterios de caracterización que no necesariamente se ajustarían a factores objetivos aplicables a una escala local.

Tal como objetan Nwodo y Anumba (2020) esas caracterizaciones se basan en la persistencia en que la cantidad de emisiones son liberadas como asimismo en su duración en el ambiente local, en la determinación de las especies presentes en el ecosistema expuesto a esas emisiones, y en el resultado del impacto sobre las especies en el ecosistema. Por consiguiente, la EICV asociada a esos factores se basará en estimaciones que presentan sesgos; por ende, la interpretación de esos resultados puede ser objetable. Por otra parte, y en referencia a las categorías de impactos ambientales locales, la mayoría de las bases de clasificación y caracterización utilizadas en el ICV han sido creadas para Europa y Norteamérica, condicionando de esta manera su aplicación por fuera de esas áreas y/o regiones. Si bien en la base de ReCiPe 2016, los factores de caracterización pueden llegar a ser representativos para una escala global, podrían surgir sesgos porque en gran medida ReCiPe 2016 se basa en la versión 2008 para escala europea, y porque el proceso de escalamiento global referido no ha sido bien documentado.

Asimismo, se observa al comparar el ICVx con el ICV convencional que los principales compuestos del flujo de entrada de la línea roja y el flujo de salida del digestato no podrían ser asociados a ninguna categoría de impacto ambiental, a excepción del agua de forma indirecta para la categoría de impacto de eutrofización por medio de considerar N total al agua como el factor para caracterizar los impactos asociados tanto a esa entrada como a esa salida. De igual forma, podría suponerse para las vísceras considerar al parámetro de la demanda química de oxígeno (DQO) como indicador asociado a la categoría de impacto de eutrofización. Asimismo, tanto el nitrógeno como el oxígeno presentes en el *gas-off*, si bien poseen potenciales efectos por ser altamente reactivos y convertirse en sustancias con potenciales impactos ambientales, no pueden por sí mismas ser identificadas con alguna de las categorías de impacto ambiental más utilizadas. En tal caso habría que suponer al N₂ como un NO_x para que de esta forma pueda ser asociado a las categorías de calentamiento global, eutrofización y acidificación y al O₂ como CO para ser relacionado con la categoría de formación de smog fotoquímico. Por ende, estas limitaciones planteadas en relación con la dificultad de cuantificar los compuestos de los flujos mencionados en el ICV tradicional traería aparejada ciertas implicaciones tanto en la fase de la EICV como en la posterior fase de interpretación de los resultados hallados.

Tabla 1 Análisis de Inventario - Flujos de entrada.

Flujo	Compuestos más representativos (2)	ACVx: Método de cálculo exergético y valor exergético asociado (1)	ACV: Unidad de medida según la categoría de impacto ambiental asociado
-------	------------------------------------	--	--

Línea Roja	Vísceras: Lípidos (C ₁₆ H ₃₂ O ₂) Proteínas (C ₁₆ H ₂₄ O ₅ N ₄) Carbohidratos (C ₆ H ₁₀ O ₅) Agua, l (H ₂ O)	Exergía química (b ⁰)	- C ₁₆ H ₃₂ O ₂ ; C ₁₆ H ₂₄ O ₅ N ₄ (exergía química b ⁰ en KJ/mol, según Tabla I, Tabla II y Tabla III de Szargut 2005) (3) - C ₆ H ₁₀ O ₅ (exergía química b ⁰ : 2749,9 KJ/mol) (4) - H ₂ O (exergía química b ⁰ : 0,9 liq KJ/mol) (1)	H ₂ O: Eutrofización, indirectamente por medio de N al agua kg equivalente PO ₄ ³ /kg
------------	--	-----------------------------------	--	--

(1) Szargut 1985; Szargut 2005: T_n = 298,15 K p_n = 101,325 KPa

(2) FAO 2011; Ware 2016; Diaz 2015

(3) Szargut 2005: T_n = 298,15 K p_n = 101,325 KPa

(4) Jaimes M. et al. 2012

Tabla 2 Análisis de Inventario - Flujos de salida. Comparación entre ACVx y ACV

Flujo	Compuestos más representativos (3)	ACVx: Método de cálculo exergético y Valor exergético asociado (1)	ACV: factor de caracterización de la categoría de impacto ambiental y unidad de medida
Biogás	Metano, g (CH ₄) Agua, g (H ₂ O) Dióxido de carbono, g (CO ₂)	Exergía química (b ⁰)	- CO ₂ : Potencial de calentamiento global kg equivalente CO ₂ /kg - H ₂ O: Potencial de eutrofización, indirectamente por medio de N al agua kg equivalente PO ₄ ³ /kg - CH ₄ : Potencial de calentamiento global Indicador: kg equivalente CO ₂ /kg
Digestato	Agua, l (H ₂ O) Alanina (C ₃ H ₇ -NO ₂) Celulosa (C ₆ H ₁₀ O ₅) Ácido oleico (C ₁₈ H ₃₄ O ₂)	Exergía química (b ⁰)	H ₂ O: Potencial de eutrofización, indirectamente por medio de N al agua kg equivalente PO ₄ ³ /kg

			KJ/mol) (4)	
Efluentes	Agua, l (H ₂ O)	Exergía química (b ⁰)	- H ₂ O (exergía química b ⁰ : 0,9 liq KJ/mol) (1)	H ₂ O: Potencial de eutrofización, indirectamente por medio de N al agua kg equivalente PO ₄ ³ /kg
Gas-off	Nitrógeno, g (N ₂) Oxígeno, g (O ₂) Agua, g (H ₂ O) Dióxido de carbono, g (CO ₂) Amoniac, g (NH ₃) (2)	Exergía química (b ⁰)	- N ₂ (exergía química b ⁰ : 0,72 KJ/mol) (1) - O ₂ (exergía química b ⁰ : 3,97 KJ/mol) (1) - H ₂ O (exergía química b ⁰ : 9,49 gas KJ/mol) (1) - CO ₂ (exergía química b ⁰ : 19,87 KJ/mol) (1) - NH ₃ (exergía química b ⁰ : 337,9 KJ/mol) (1)	- H ₂ O: Potencial de eutrofización, indirectamente por medio de N total al agua kg equivalente PO ₄ ³ /kg - CO ₂ : Potencial de calentamiento global kg equivalente CO ₂ /kg - NH ₃ : Potencial de acidificación kg equivalente SO ₂ /kg

(1) Szargut 1985: T_n = 298,15 K p_n = 101,325 KPa

(2) Szargut 1985: T_n = 298,15 K p_n = 101,325 KPa y Gharagheizi et al 2014

(3) Laner et al. 2015, Tabla 3

(4) Jaimes M. et al. 2012

(5) Szargut 2005: T_n = 298,15 K p_n = 101,325 KPa

5. REFLEXIONES FINALES.

Dado que el presente estudio se basa en un caso hipotético, resulta apropiado resaltar una serie de consideraciones a modo de reflexiones finales con el propósito orientador de demostrar por qué la exergía como medida de eficiencia e indicador de la degradación de la calidad de los recursos, permite comprender los impactos ambientales en términos de recuperación de eficiencia exergética, y por lo tanto una medida de sustentabilidad más objetiva.

En primer lugar, se ha visto que la necesidad de cuantificar la cantidad de energía requerida en los flujos residuales de un proceso industrial plantea tomar un indicador comparable y medible para las corrientes y sustratos principales a fin de caracterizar la transformación de su energía y calidad. Por ende, se ha resaltado la relevancia de la aplicación del concepto termodinámico de exergía como unidad de medida única y comparable para los distintos flujos de residuos.

En segundo lugar, se ha examinado cómo en Latinoamérica la aplicación de la exergía, como unidad de medida, se ha centrado en la evaluación de combustibles energéticos y eficiencia de procesos de producción energética, siguiendo las líneas de investigación iniciales de esta área de estudio.

Asimismo, se ha indicado que su aplicación a flujos residuales es aún incipiente, y que la inclusión de metodologías que reconozcan a la exergía como unidad de medida totalizante, posibilitará considerar tanto los recursos energéticos como no energéticos con composición conocida en el tratamiento de flujos residuales bajo estudio a fin de evaluar su sustentabilidad (Ibagón-Gutiérrez, 2021, pág. 171).

En tercer lugar, se ha demostrado por medio de interpelar la base epistemológica de las fases del ACV por qué esta metodología se presenta como una práctica que constantemente busca simplificarse, de manera tal de no olvidarse que su propósito sigue siendo capturar la esencia cualitativa de los fenómenos que aborda, y que como tal, necesita valerse de esquemas analíticos para reflejar mejor las transformaciones entrópicas para evaluar e interpretar hasta dónde llega el alcance de un

determinado conjunto de impactos. De ahí que el ACVx vendría a simplificar el proceso de construcción del ICV, otorgando un mayor nivel de objetividad en ese esquema analítico, otorgando de esta manera una medición más integral de esas transformaciones entrópicas al momento de realizar la EICV y la interpretación de los resultados hallados.

En cuarto lugar, se ha demostrado que el análisis del flujo de exergía a través de la eficiencia de recuperación de recursos propuesta por D. Laner et al. (2015) e indicada en ecuación 3 permite conocer las pérdidas de exergía en el sistema de biodigestión del caso hipotético seleccionado, siendo un proceso irreversible que provoca la destrucción de la exergía y de ahí su relevancia para la evaluación ambiental en términos de eficiencia exergética.

En quinto lugar, se ha podido construir el ICV de este estudio de caso hipotético tanto bajo el método exergético como bajo el método convencional de categorías de impacto ambiental, y se ha constatado que bajo el método ACVx resulta posible no solamente cuantificar cada uno de los compuestos de los flujos de entrada y salida en una única unidad de medida, sino que permite cuantificar la contribución de cada uno de estos compuestos acumulativamente en comparación con el método convencional del ACV. Asimismo, se ha comprobado por qué bajo el ICV tradicional los factores para caracterizar impactos ambientales de escala local y/o regional se sujetan a modelos sesgados, valiéndose de criterios de caracterización no ajustados a factores objetivos parametrizados a escala local. En este sentido, el ICV bajo el método ACVx no dependería de factores originados en algún modelo de caracterización de las bases de datos comerciales, dado que al tener los resultados del análisis del ICV bajo una misma unidad de medida, ese análisis puede prescindir de la necesidad de ser asignado a la unidad común del indicador de la categoría ambiental a la cual se refiere.

Finalmente, cabe señalar que resultaría ser una mera simplificación de ejercitación teórica y práctica suponer que la aplicación del enfoque exergético no presentaría inconvenientes, requiriendo ser evaluados en el contexto de un caso de estudio real, y a la vez, clarificados a la luz de los últimos avances en esta área de estudio. Por lo pronto, este trabajo ha servido como *meditatio*, una meditación en el sentido del ejercicio en el pensamiento que fusiona lo teórico y lo práctico para reorientar la metodología del análisis de ciclo de vida desde el enfoque exergético y su interrelación con la medición de la sustentabilidad de recursos energéticos y no energéticos en procesos de reconversión energética a partir de ROIs.

6. REFERENCIAS.

- Arzoumanidis, I., Salomone, R., Petti, L., Mondello, G., & Raggi, A. (2017). Is there a simplified LCA tool suitable for the agri-food industry? An assessment of selected tools. *Journal of Cleaner Production*, 149, 406-425.
- Beemsterboer, S., Baumann, H. & Wallbaum, H. (2020). Ways to get work done: a review and systematisation of simplification practices in the LCA literature. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 25, 2154–2168. doi: <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01821-w>
- Bösch ME, Hellweg S, HuijbregtsMAJ, Frischknecht R (2007): Applying Cumulative Energy Demand (CExD) Indicators to the ecoinvent Database. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 12 (3) 181–190. <http://dx.doi.org/10.1065/lca2006.11.282>
- Cheng, M.-H., Sekhon, J.J.K., Rosentrater, K.A., Wang, T., Jung, S., Johnson, L.A., (2018). Environmental impact assessment of soybean oil production: extruding-expelling process, hexane extraction and aqueous extraction. *Food Bioprod. Process* 108, 58-68.
- FAO. (2011). Manual de biogás. Proyecto CH/00/G32. Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables. Santiago de Chile, Chile.
- Finnveden, G., Arushanyan, Y., & Brandão, M. (2016). Exergy as a Measure of Resource Use in Life Cycle Assessment and Other Sustainability Assessment Tools. *Resources*, 5(3), 23.
- MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/resources5030023>
- Fleischer, G., Gerner, K., Kunst, H., Lichtenvort, K., & Rebitzer, G. (2001). A semi-quantitative method for the impact assessment of emissions within a simplified life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 6(3), 149-156.

- Heiskanen E (2002) The institutional logic of life cycle thinking. *Journal of Life Cycle Assessment*, 10:427–437.
- Hochschorner, E., & Finnveden, G. (2003). Evaluation of two simplified life cycle assessment methods. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 8(3), 119-128.
- Hur T, Lee J, Ryu H, Kwon E (2005) Simplified LCA and matrix methods in identifying the environmental aspects of a product system. *Journal of Environmental Management*, 75:229–237.
- Ibagón Gutiérrez, L. M. (2021). Exergy use review of wastewater study in Latin America. *DYNA*, 88(216), 170–175. <https://doi.org/10.15446/dyna.v88n216.89054>
- Ignatenko, O., van Schaik, A. & Reuter, M. A. (2007). Exergy as a tool for evaluation of the resource efficiency of recycling systems. *Minerals Engineering*, 20(9), 862-874. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2007.03.005>.
- IRAM (2008) IRAM-ISO 14040:2008. Gestión Ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia. Instituto Argentino de Normalización y Certificación
- IRAM (2008) IRAM-ISO 14044:2008. Gestión Ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- Jaimes M., W. A., Rocha, S., Vesga, J. N., & Kafarov, V. (2012). Análisis termodinámico del proceso real de extracción de aceite de palma africana. *PROSPECTIVA*, 10(1),61-70 ISSN: 1692-8261. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496250733007>
- Laner D, Rechberger H, De Soete W, De Meester S, Astrup T F (2015) Resource recovery from residual household waste: An application of exergy flow analysis and exergetic life cycle assessment. *Waste Management*, 46. 653–667. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.09.006>
- Moberg, Å., Borggren, C., Ambell, C., Finnveden, G., Guldbbrandsson, F., Bondesson, A., ... & Bergmark, P. (2014). Simplifying a life cycle assessment of a mobile phone. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(5), 979-993.
- Morosuk T, Tsatsaronis G, Koroneos, C (2016) Environmental impact reduction using exergy-based methods. *Journal of Cleaner Production*, 118:118–123.
- Naciones Unidas (2009). Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas (CIIU) Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. División de Estadística Informes estadísticos Serie M, No. 4/Rev. 4, Naciones Unidas: Nueva York. Recuperado de: https://unstats.un.org/unsd/publication/seriesm/seriesm_4rev4s.pdf
- Nwodo, M. N., & Anumba, C. J. (2020). Exergetic Life Cycle Assessment: A Review. *Energies*, 13(11), 2684. MDPI AG. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.3390/en13112684>
- Pagés Díaz, Jhosané (2015). Biogas from slaughterhouse waste: Mixture interactios in co-digestion. (Thesis for the degree of Doctor of Philosophy at the University of Borås). University of Borås, Allégatan 1, Borås, Sweden. Digital version: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:hb:diva-847>
- Simpson, A.P. & Edwards, C.F. (2011). An exergy-based framework for evaluating environmental impact. *Energy*, 36, 1442–1459. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.01.025>
- Szargut J. (2005), *Exergy Method Technical and Ecological Applications*, WIT Press, Southampton, Boston.
- Unión Europea (2014). Decisión 2014/955/UE. Recuperado de: <https://www.boe.es/doue/2014/370/L00044-00086.pdf>
- van der Werf, H. M., Knudsen, M. T., & Cederberg, C. (2020). Towards better representation of organic agriculture in life cycle assessment. *Nature Sustainability*, 3(6), 419-425.
- Ware, A. & Power, N. (2016). Biogas from cattle slaughterhouse waste: Energy recovery towards an energy self-sufficient industry in Ireland. *Renewable Energy*, 97, 541-549. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.05.068>



XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERIA INDUSTRIAL Y CARRERAS AFINES

Se certifica que

HERRERÍA, ELISABETH RUTH - CARUCCI, JUAN - VIDAL, MAURO HERNÁN RICARDO - JURADO, VANINA GABRIELA

Ha participado en calidad de AUTOR del trabajo:

LA APLICACIÓN DE LA EXERGÍA AL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA. UN ENFOQUE INTEGRADOR PARA LA MEDICIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD

en el XVI COINI 2023, realizado bajo modalidad híbrida del 1 al 3 de noviembre de 2023 en la sede de UTN FRSN, en la ciudad de San Nicolás de los Arroyos, Buenos Aires, Argentina.



Esp. Ing. Tomás Avelta
Presidente XVI COINI 2023



Dr. Ing. Macar Lucifé
Presidente AACIN



Ing. Hernán Avelta
Dpto.



Anexo 2



Unidad Académica: Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas

Código: C2-ING-098

Título del Proyecto: Aplicación del análisis de ciclo de vida exergético a la recuperación de energía de residuos orgánicos industriales en La Matanza

Director del Proyecto: Herrería, Elisabeth Ruth

Programa de acreditación: PROINCE...CyTMA2: X.

Fecha de inicio: 01/01/2022

Fecha de finalización: 31/12/2023

1. Datos del alumno

Apellido y Nombre: Jurado, Vanina Gabriela

DNI: 23.626.633

Unidad Académica: Departamneto de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas

Carrera que cursa: Ingeniería Industrial

Período evaluado: 01/01/2023 al 31/12/2023

2. Dictamen de evaluación de desempeño del alumno:

2.1 Satisfactorio: X

2.1 No satisfactorio:

Fundamentos del dictamen:

Durante el período que corresponde a esta evaluación, la alumna se desempeñó como becaria de investigación del proyecto después de haber obtenido un dictamen favorable a su postulación a la convocatoria de las becas UNLaM 2022. Así pues, la alumna como becaria de investigación cumplimentó muy satisfactoriamente los objetivos planteados durante el desarrollo del plan de trabajo propuesto. Asimismo, demostró trabajar comprometidamente para desarrollar competencias científico-tecnológicas interdisciplinarias mediante el trabajo colaborativo durante el período evaluado. Por consiguiente, contribuyó favorablemente al desarrollo de los objetivos del proyecto de investigación. Por otra parte, participó de manera activa e integral en las actividades de investigación del equipo de trabajo, brindando aportes originales a problemáticas teóricas y metodológicas derivadas del trabajo realizado en este proyecto. De igual forma, exhibió durante el proceso de ejecución de su trabajo capacidad reflexiva, crítica y argumentativa. De la misma manera, presentó excelentes habilidades interpersonales y comunicacionales y capacidad para el autoaprendizaje y la autoevaluación de manera responsable.

3. Propuesta de continuidad en el proyecto (si corresponde según duración estimada)

3.1 Continuar en el presente proyecto: -

3.2 No continuar en el presente proyecto: -

Fundamentos del dictamen: -

20 de Febrero 2024

Elisabeth R. Herrería

Lugar y fecha

Firma del Director

Aclaración de firma