



Sustainable Lifestyles

CILCA 2017

VII Conferencia Internacional de
**Análisis de Ciclo de
Vida en Latinoamérica**

12 al 15 de junio de 2017

Medellín - Colombia



EXPLORING LIFESTYLE, CONSUMPTION, AND THE ECOLOGICAL FOOTPRINT OF MEDELLIN

PhD. Author 1 Jennie Moore*
M Sc. Author 2 Diana Marcela Rincón**

* 1, Associate Dean, Building Design and Construction Technology, School of Construction and the Environment, 3700 Willingdon Avenue, Burnaby British Columbia, Canada, Telephone: 001-604-451-6734 and Fax: 001-604-604-435-4219. E-mail: jennie_moore@bcit.ca

** 2, Institution 2, Consultant to the Urban Planning Department City of Medellin. Calle 44 N 52 – 165 Centro Administrativo la Alpujarra – Medellín, Colombia. Telephone: 057-301-591-5762 E-mail: drincon1@eafit.edu.co

ABSTRACT:

Urban form and lifestyle patterns of a city's residents are determining factors in resource consumption. An urban metabolism study combined with life cycle analysis is used to assess the consumption of Medellin, Columbia. This data in turn is used to yield an ecological footprint assessment that indicates the amount of biologically productive land and sea area needed to supply the resources that are consumed and sequester the wastes that are produced. The method of analysis also enables exploration of potential changes to the built environment and lifestyle choices of urban residents that could help reduce consumption of resources with the aim of balancing the city's ecological footprint so that it does not exceed what is available biologically from surrounding natural areas and the global commons. This paper explores the consumption characteristics of Medellin and its ecological footprint as a means to probe opportunities for advancing urban sustainability in a Latin American context.

Keywords:

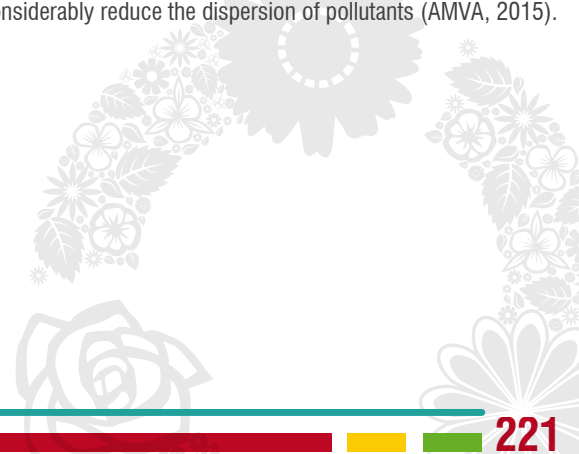
Lifestyle; consumption; ecological footprint; urban metabolism; greenhouse gases; Medellin; Vancouver

1 | INTRODUCTION

Urban form and lifestyle patterns of a city's residents are determining factors in resource consumption. With 50% of the global population living in cities and unprecedented depletion of natural habitat resulting in stressed ecosystems worldwide (WWF, 2014), understanding how urban demand for natural resources is shaped becomes an important endeavour in the pursuit of sustainability.

We aim to identify the resource demands of Medellin and the associated demand for nature's services on the global commons. We use an urban metabolism study combined with lifecycle analysis to assess the consumption patterns of the City's residents. This data in turn is used to yield an ecological footprint assessment that indicates the amount of biologically productive land and sea area needed to supply the resources that are consumed and to sequester the wastes that are produced. Ecological footprint analysis (EFA) can be used by cities to account for their on-going demands on global renewable resources. We explore the characteristics of Medellin's built environment, socio-economic and cultural features to better understand the nexus of lifestyle and ecological footprint as a means to probe opportunities for advancing urban sustainability in a Latin American context.

Medellin is one of 10 municipalities that make up the metropolitan area of the Medellin urban region. The population of the City of Medellin is estimated at 2,464,322 people distributed over an area of 382 km²; while the population of the whole metropolitan area is 3,777,009 distributed over 1,250 km² (DANE, 2015). Founded in 1675, the City of Medellin is the second largest city in Colombia. It is located in the Aburrá River Valley which is approximately 65 km long and 7 km wide (Hermelin, 2007). The altitude is 1,600 m above sea level, and surrounding mountain peaks reach 3,000 metres. This geographic condition results in unique environmental features comprising a narrow valley predisposed to natural disasters such as landslides and floods which is exacerbated by rapid urban expansion towards the mountains (Hermelin, 2007). Urban population growth also brings increased motor vehicle traffic and industrial activity that contribute to air pollution. In addition, the hydro-meteorological conditions combined with low natural ventilation of the Valley favour the constant formation of low altitude clouds that considerably reduce the dispersion of pollutants (AMVA, 2015).



2 | METHODOLOGY

Following Moore et al. (2013), an integrated, residential urban metabolism and life cycle assessment is used as the basis for a component-based ecological footprint analysis. This means that regardless of where production and disposal take place, whatever is consumed by Medellín's residents is counted along with the up-stream and downstream energy and materials required to produce it and dispose of it. This approach differs from a territorial approach that examines energy and material flows within a city's boundaries but a) does not account for embodied energy or up-stream and down-stream material inputs, and b) does not distinguish between production for trade and consumption by local residents.

Data was collected from primary sources (e.g., municipal agencies, environmental authorities, public transport and utility companies) and from secondary sources that correspond to studies generally carried out through agreements between the public sector and the academy. Data comprise the weight of materials consumed by type, e.g., food, water, wood, concrete, steel, fuel, and the amount of energy consumed by type, e.g., kilowatt hours and Giga Joules, for both energy used to operate equipment such as driving a motor vehicle or heating a building, as well as energy used to manufacture and subsequently dispose of the equipment or product. For purposes of the ecological footprint analysis, a one-year snap shot of consumption is taken and therefore the embodied materials and energy consumed in the manufacturing of a product is amortized over its lifespan. For detailed descriptions of the method and relevant literature used to inform the life cycle analysis see Kissinger et al. (2013) and Moore (2013).

Data was grouped into five categories of consumption comprising: i) food, ii) buildings, iii) consumables and waste, iv) transportation, and v) water. Within each category, total materials, embodied energy, operating energy, and built area was documented. Using a bottom-up, component approach to ecological footprint analysis, the area of ecologically productive land and aquatic/marine area required to produce the energy and materials associated with consumption and sequestration of resultant wastes in each of the five categories was estimated. For detailed descriptions of the method and relevant literature see Moore et al. (2013) and Moore (2013).

For the food data, the information was obtained from two studies on food safety for the city (Alcaldía de Medellín & Universidad de Antioquia, 2015), as the city does not collect this information constantly.

For the Buildings section, the land register office provides information regarding the number of residential dwellings, as well as the number of commercial and institutional buildings that are formal and legally established. Data for informal or illegal housing was not included since the City does not have official information yet.

Regarding the Consumables and Waste section, the information was collected from the municipality's environmental office and from the City sanitation company (EMVA-RIAS, 2015). Information about materials recycling and reuse was obtained from a small-scale study in Medellín (Alcaldía de Medellín & Universidad de Medellín, 2015). On the subject of Transportation, the information comes from the environmental authority (AMVA, 2015) and from the main company of public transportation (Metro de Medellín, 2015).

Finally, water data, was gathered from the utility company of Medellín (EPM 2015) that provides water, electricity and natural gas for the whole metropolitan area.

Finally, the findings from the integrated residential urban metabolism with life cycle assessment and ecological footprint analysis was used to compile a consumption profile for the average resident of Medellín. This profile can be compared to the consumption characteristics of lifestyle archetypes for people living within Earth's ecological carrying capacity (Moore 2015, 2013). Comparisons can also be made to world average consumption characteristics as well as to lifestyle archetypes of very high consuming societies that are unsustainable (Moore 2015; Moore and Rees 2013). For example, if everyone lived within the average, global ecological productive capacity of earth, estimated at 1.7 ha/ca, humanity could live sustainably. This concept is also known as one-Earth or one-planet living (Wackernagel and Rees 1996; James and Desai 2003; Moore 2013). Following the same logic, people consuming more of nature's services to support their lifestyles (e.g., between 1.7 gha/ca and 3.4 gha/ca) are living a two-planet lifestyle. This is because if everyone lived this way, it would take more resources than the Earth could produce year-over-year. Therefore, another Earth-like planet would be needed to meet the excess demand. People consuming more than twice this amount (e.g., consuming at more than 3.4 gha/ca) are said to be living a three-planet lifestyle and so on (Moore 2015).

3 | RESULTS AND DISCUSSION

Food: Available data are estimations coming from a survey made to people from all socioeconomic levels that were asked the frequency of food intake the day before the survey (Alcaldía de Medellín & Universidad de Antioquia, 2015). Therefore, this does not necessarily reflect the real average food consumption of the population. The diet consists predominantly of legumes (beans), cereals, vegetables, meat and dairy products (Arboleda & Villa, 2016). Less than 3% of foods such as fruits, vegetables and milk are produced locally and 26% in the near region within a radius of 300 km. The remaining percentage of food (71%) comes from more distant regions of Colombia and imports (Alcaldía de Medellín & Universidad Nacional de Colombia, 2011). It is important to highlight that the low, local production of food in Medellín is a problem of access and use of productive soils. According to the study on food supply and distribution, the metropolitan area of Medellín has sufficient production capacity to "increase local food supply by up to 65%, using their own territories and areas of influence" (Alcaldía de Medellín & Universidad Nacional de Colombia, 2011). Such an approach could significantly reduce the food footprint of the City.

Buildings: The information about the exact amount of building materials is scarce because the offices that regulate the construction process in the City do not record it. However, it is well known that most small buildings are made of brick, and large buildings (i.e., over 5 stories) are made of concrete (Alcaldía de Medellín, 2013). Average family size is 4 and people generally live in apartments of approximately 60 square metres (Alcaldía de Medellín, 2013). The information included corresponds to the number of formal and legal dwellings and buildings, but a high proportion of housing in Medellín (around 25% of the territory) is informal or illegal (Echeverry & Orsini, 2010), and these data are not part of the analysis. Additionally, the City does not disaggregate data by type of housing; the only categories are residential or non-residential.

Consumables and Waste: The available information on this topic is the amount of waste going to landfill. There is no official information for consumption by type of material or for waste distinguished by residential, commercial, institutional or other sources. There is partial information on the use of some materials from a small-scale study about recycling processes (Alcaldía de Medellín & Universidad de Antioquia, 2015), but there is no data for the City as a whole. The majority of recyclable materials such as paper, plastic and glass are processed by private companies which are not required to declare this information. Additional data like the estimated proportion of materials recycled and the total amount of waste produced per day were included in the analysis. It is important to point out that, in addition to the impact generated by the production and management of waste within the City and the metropolitan area, there is an additional factor of impact because the landfill is located 60 kilometers from Medellín so waste must be transported, generating more GHG emissions and air pollution affecting other municipalities.

Transportation: Public transportation is made up of i) the Medellín Metro system that consists of trains, cable cars and trolley that run on electric power, and articulated buses that operate with natural gas, and ii) by different private-public transport companies. Private vehicles (cars and motorcycles) represent more than 90% of the total motor vehicle fleet in the metropolitan area (AMVA & Universidad Pontificia Bolivariana, 2013). Circulating cars in the metropolitan area could be registered in any municipality; thus, the number of vehicles registered in Medellín is not a reliable datum for the analysis because circulating cars in Medellín are registered in all municipalities.

Water: Although the Medellín river (part of the Aburrá river basin) is the main channel with more than 352 streams along the entire valley, the proportion of water used for potable consumption by the population is minimal. More than 95% of the water consumed in Medellín and its metropolitan area comes from two other basins: i) Riogrande II reservoir that receives water from different rivers and streams located in 5 municipalities to the north of the valley and ii) La Fe reservoir located at the west of the valley whose water comes from rivers affiliated with the other 6 municipalities (EPM, 2015). The water must be transported several kilometers for consumption in the City. The lack of water self-sufficiency of the metropolitan area of Medellín is a fundamental element in the analysis of its ecological footprint that is not necessarily reflected in the data. It is necessary to evidence this because of the impact on ecosystems and population outside the area of the City, which will eventually require access to the resource due to its constant and rapid population growth.

With the above data, a profile of consumption for the average resident of Medellín can be constructed (see Table 1). The results depict a lifestyle between the one-planet and two-planet archetype (Moore 2015) that represents generally modest levels of consumption. The exception is the high level of motor vehicle ownership, exceeding that of a three-planet lifestyle (Moore 2015). As noted previously, challenges in accessing robust and accurate data limit the ability to draw definitive conclusions. Further research could resolve apparent anomalies, specifically with regard to the high incidence of motor-vehicle ownership. Nevertheless, the analysis reveals some interesting findings. All comparisons noted in the comments for each component in Table 1 are made in reference to quantitative values reported for lifestyle archetypes of one-planet, two-planet and three-planet living reported in Moore (2015).

Table 1: Consumption Profile of the Average Medellín Resident

Component	Consumption (units/ca/year)	Comments
Ecological Footprint	2.04 gha	People in Medellín live slightly above the one-planet threshold of 1.7 gha/ca.
Carbon Dioxide Emissions	3.2 tCO _{2e}	Emissions are between the one-planet (1.5 tCO _{2e}) and two-planet archetype (4 tCO _{2e}). This includes direct consumption and related embodied energy from life-cycle analysis.
Food	417 kg	Food consumption is less than the one-planet archetype (548 kg). The diet predominantly comprises legumes (beans), cereals, and vegetables (33%), dairy products (31%), and meat (14%).
Buildings and Built Area	15 m ² 2,218 kWh 5 GJ	Living space is double the one-planet average (8 m ²) and on par with a two-planet lifestyle, including for electricity and energy consumption.
Consumables and Wastes	220 kg waste	Waste disposal is on par with a one-planet lifestyle (217 kg).
Transportation	1.5 vehicles	Motor vehicle ownership appears to be well above the three-planet archetype (0.5 vehicles). Inability to separate locally registered vehicles from those outside the region is a confounding factor. (Data ranges from 1.2 to 1.9 vehicles per capita).
Water	77 m ³	This is comparable to the one-planet archetype (74 m ³).
Human Development	0.72 HDI	The high Human Development Index is on par with the two-planet archetype (0.70).

4 | CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

The average consumption of Medellín residents is modest by global standards and generally depicts a lifestyle archetype commensurate with two-planet living. Although most food is imported, the amount of food consumed appears to be within the means of global ecological productivity when measured as a function of the city's ecological footprint. However, challenges with securing a robust data source likely result in an underestimate. Waste disposal is very low and indicates that from a socio-economic perspective residents in Medellín are not contributing to an excessive amount of materials throughput in the economy. By contrast, components associated with the built environment, i.e., for buildings, transportation and water reflect typical patterns for two-planet living. This implies that the municipal government of the City and its regional counterparts have an important role to play in furthering the sustainability of Medellín through opportunities for improved energy efficiency in buildings and closer coupling of spatial configurations in land-use that support transportation planning. Similarly, opportunities for managing water demand could also contribute to a lower footprint. According to the particular territorial context of the City, it would be interesting to undertake an ecological footprint analysis for the entire metropolitan area, or at least for the conurbation of six central municipalities. Although each municipality has its own administration, most of the issues that involve the use of natural resources and its impact are centralized. Therefore, the six central municipalities work as one city. For example, there is only one utility company that provides potable water, electricity, natural gas, sewer, and waste management for all the municipalities. As a result, many data such as those for transportation and water only exist for the entire urban complex. Improved accuracy could be achieved, therefore, if the analysis were conducted at this scale.

References

- Alcaldía de Medellín. 2013. El mercado inmobiliario en Medellín. Observatorio de políticas públicas de la Alcaldía de Medellín. Disponible online en: https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportaldelCiudadano_2/PlandeDesarrollo/ObservatoriodePoliticaspblicas/Shared%20Content/Boletin_Mercado_Inmobiliario_Trimestre1.pdf. Fecha de consulta: 27 de Febrero de 2017.
- Alcaldía de Medellín., Universidad de Antioquia. 2015. Perfil de seguridad alimentaria y nutricional de Medellín y sus corregimientos 2015. Caracterización de hogares. Disponible online en: <https://www.medellin.gov.co/irj/portal/medellin> Fecha de consulta: 15 de Octubre de 2016
- Alcaldía de Medellín., Universidad de Medellín. 2015. Convenio de asociación para realizar el estudio de caracterización de residuos sólidos generados en el sector residencial y no residencial del municipio de Medellín y sus cinco corregimientos. Disponible online en: https://www.medellin.gov.co/servicios/siamed_portal/ResiduoSolidos/documentos/Doc/InformeCaracterizacionRSMedellin.pdf Fecha de consulta: 20 de Octubre de 2016
- Alcaldía de Medellín., Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. 2011. Síntesis del diagnóstico y diseño para el abastecimiento y distribución de alimentos para la ciudad de Medellín - PADAM-. Disponible online en: <https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/wpccontent/Sites/Subportal%20del%20Ciudadano/Planeaci%C3%B3n%20Municipal/Secciones/Publicaciones/Documentos/PlanAbastecimiento/S%C3%ADntesis%20del%20diag%C3%B3stico%20y%20dise%C3%B1o%20del%20PADAM.pdf>. Fecha de consulta: 27 de Febrero de 2017.
- AMVA (Área Metropolitana del Valle de Aburrá), Universidad Pontificia Bolivariana. 2013. Inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2013. Convenio de Asociación No. CA 315 de 2014 Subdirección Ambiental. Medellín.
- AMVA (Área Metropolitana del Valle de Aburrá). 2015. Disponible online: <http://www.metropol.gov.co/pages/inicio.aspx>. Fecha de consulta: 26 de Febrero de 2017.
- Arboleda, L., Villa, P. 2016. Preferencias alimentarias en los hogares de la ciudad de Medellín, Colombia. *Saúde Soc. São Paulo*, V.25, N.3, P750-759.
- DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística). 2015. Estimaciones de población 1985 - 2005 y Proyecciones de población 2005 – 2020, total municipal por área. Disponible online en: <http://www.dane.gov.co/> Fecha de consulta: 26 de Febrero de 2017.
- Echeverry A., Orsini, F. 2010. Informalidad y urbanismo social en Medellín. En: Hermelin, M. Echeverri, A. Giraldo J. 2010. Medellín: Medio ambiente, urbanismo y sociedad. *Urbam* (Centro de estudios urbanos y ambientales), Universidad Eafit. P. 130 - 152. Disponible online en: <http://www.eafit.edu.co/centros/urbam/articulos-publicaciones/Paginas/med-medio-ambiente.aspx>. Fecha de consulta: 27 de Febrero de 2017.
- EMVARIAS (Empresas Varias de Medellín). 2015. Disponible online: <http://www.emvarias.com.co/default.aspx>. Fecha de consulta: 26 de Febrero de 2017.
- EPM (Empresas Públicas de Medellín). 2015. Plegable de cifras EPM 2015. Disponible online en: <http://www.epm.com.co/site/> Fecha de consulta: 26 de Febrero de 2017.
- Hermelin, M. 2007. Valle de Aburrá: ¿Quo Vadis? *Revista Gestión y Ambiente* Volumen 10 No. 2 Agosto de 2007. Disponible online en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169419816001> > ISSN 0124-177X Fecha de consulta: 26 de febrero de 2017.
- James, N.; Desai, P. 2003. One Planet Living in the Thames Gateway. A WWF-UK One Million Sustainable Homes Campaign Report. Surrey UK: Worldwide Fund for Nature.
- Kissinger, M., Sussmann, C., Moore, J., Rees, W.E. 2013. Accounting for the Ecological Footprint of Materials in Consumer Goods at the Urban Scale. *Sustainability*, 5, 1960-1973; doi:10.3390/su5051960.
- Metro de Medellín. 2015. Disponible online: <https://www.metrodemedellin.gov.co/>. Fecha de consulta: 26 de Febrero de 2017.
- Moore, J. 2013. Getting Serious About Sustainability: exploring the potential for one-planet living in Vancouver. A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, Vancouver: School of Community and Regional Planning, University of British Columbia.
- Moore, J., Rees W.E. 2013. Getting to One-Planet Living. Chapter 4 in *State of the world 2013: Is Sustainability Still Possible?* Starke, L. Ed.; Island Press: Washington, DC, USA, 39-50.
- Moore, J.; Kissinger, M., Rees, W.E., 2013. An Urban Metabolism and Ecological Footprint Assessment of Metro Vancouver. *Journal of Environmental Management* 124, 51-61.
- Moore, J. 2015. Ecological Footprints and Lifestyle Archetypes: Exploring Dimensions of Consumption and the Transformation Needed to Achieve Urban Sustainability. *Sustainability*, 7, 4747-4763; doi:10.3390/su7044747.
- UN Development Report Reports, online resource: <http://hdr.undp.org/en/countries/profiles/COL> accessed on March 9, 2017. Accessed February 22, 2017.
- Wackernagel, M.; Rees, W.E. 1996. *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. Gabriola Island, BC: New Society Publishers.



MORE SUSTAINABLE LIFESTYLES AND LIFE CYCLE THINKING ESTILOS DE VIDA MÁS SOSTENIBLES Y PENSAMIENTO DE CICLO DE VIDA

Monteiro, J. P. A.1; Silva, J. M.1; Viñas, R. S.1

1 Fundação Espaço ECO
Estrada Ribeirão do Soldado, 230 - São Bernardo do Campo, Brasil
E-mail: julia.monteiro@basf.com; juliana.andrade@basf.com

RESUMEN:

En los últimos años, grande parte de las publicaciones técnicas presentan el concepto del Pensamiento de Ciclo de Vida como un argumento fuerte para describir, explorar y desarrollar usos de medición o gestión rumbo al desarrollo sostenible. Estas investigaciones, especialmente estudios de casos, se ocupan de aplicaciones y desarrollos metodológicos específicos en Análisis de Ciclo de Vida (ACV); siempre dirigidos a públicos especializados. A partir de estudios ACV desarrollados como interés público por Fundação Espaço ECO, este artículo busca identificar qué prácticas de comunicación y difusión de contenidos estimulan el Pensamiento de Ciclo de Vida y, por lo tanto, pueden influir en el cambio de comportamiento individual y en mejores hábitos de consumo. La comunicación de compromiso puede ser reconocida con una evaluación de sus medios. Este concepto consiste en entender la relevancia de una noticia en particular y su impacto en un vehículo de comunicación. La audiencia también representa un punto importante para esta evaluación de medios de comunicación, ya que se busca comprender cuántas y cuales personas se vieron afectadas por estas noticias. En este contexto, a partir de las piezas de comunicación desarrolladas (techos, lámparas, piscinas, duchas de baño y secado manual), el análisis revela factores habilitador e inhibitorio para una mejor comprensión del consumidor final, con el fin de cumplir el objetivo propuesto.

Palabras clave:

Pensamiento de Ciclo de Vida Individual; Comunicación de compromiso; Estrategia de Medios de Comunicación.

ABSTRACT:

In recent years, technical publications present the concept behind Life Cycle Thinking as a strong argument which aim to describe, explore, and develop uses in measurement or in management for sustainable development. However, these researches, especially when dealing with case studies, deals with applications and developments of specific methodologies based on the Life Cycle Assessment (LCA); always directed to specialist audiences. Through cases of public interest actions developed by the Fundação Espaço ECO, this paper seeks to identify which communication's and content dissemination's practices stimulate Life Cycle Thinking and, therefore, can influence individual behavior change and better consumption patterns. Engagement communication can be recognized with a media evaluation. This concept consists on understanding the relevance of a particular news item and its impact on a media vehicle. The audience is also a very important piece of information provided by the media appraisal since it gives an idea of how many people were impacted by these news. In this context, based on the communication pieces developed due to conducted life cycle studies for household items (Roofs, Lamps, Pools, Bath Showers and Hand Drying systems), analysis reveals enabling and inhibitory factor to better final consumer understanding, suggesting hypotheses and questions, in order to meet the proposed objective.

Keywords:

Individual Life Cycle Thinking; Engagement communication; Media strategy.

1 | COMMUNICATION OF LCA STUDIES

Nowadays, most organizations face the global demand effects, which is increasingly competitive. As STRUNCK (2003) asks, "in the midst of this turbulent scenario, how to generate brand value for your target audience when communicating?" According to THIOLENT (2001), methodological strategies can guide a research project for new ways in conduction, generation or experimentation of reports on effective paths to capture and process data and information. With the purpose of solving theoretical or practical questions of an investigation, the communication needs to be more assertive so that its message is interpreted correctly by its receiver.

The Life Cycle theme is on spotlight recently, thus awakening the need to communicate to consumers – and other decision maker – about their contribution to environmental performance and its impacts from their choice of products, services and processes. However, MOLINA & SMITH (2008), reveals that most publications on the subject focus on improvements of Life Cycle Assessment (LCA) applications and methodologies, rather than exploring how to disseminate and use information derived from LCA studies by contractors, whether in business and operational strategies, or in communication and marketing initiatives. In view of the opportunities in positioning a product, service or process, it is understood as essential to communicate the results of studies in order to stimulate and guide the dialogue between publics, given the "maintenance of its market share" (IRIGARAY et al, 2006).

Fundação Espaço ECO® (FEE®) explores the results of life cycle studies in order to make useful conclusions for the study contractor and its target audience. Communications to consumers should encourage these stakeholders to reflect on their behavior and consumption habits. After all, as MICKWITZ et al (2006) suggest, “on a local scale, problems related to sustainable development may be different and require adapted tools to solve them”. In this context, FEE® develops studies of public interest aiming to stimulate changes in consumer behavior, “in order to impact individual actions and promote possible attitude changes, offering less complex information with credibility” (MOLINA & SMITH 2008). With this background, this paper seeks to identify good practices applied in the communication of life cycle studies in order to generate changes in consumer behavior.

2| CRITERIA TO IDENTIFY GOOD COMMUNICATION PRACTICES

The quickness in tracking market information dynamism and its best use to support decision making are critical success factors (IRIGARAY et al, 2006). Therefore, in order to achieve the desired goal, five selected cases are studied. These cases represent effective communication about the reflection of relevant behaviors to several consumers, because the analyzed infographics accumulate more than 30 spontaneous insertions in wide range Brazilian press vehicles. This kind of graphical representation offer additional support for press texts, as they are constructed aiming to facilitate consumer choices through drawings and key information (environmental, economic and social results and aspects of life cycle studies). The case studies consider the perspective of the effective communication process described in MONTEIRO et al (2016), which should be considered for message construction: communication objective; definition of stakeholders related into life cycle; in addition to strategy and the communication processes.

3| COMMUNICATION CASES OF LIFE CYCLE STUDIES

In a larger context, communication strategies applied in the studied cases intend to inform consumers (public interest), in order to engage their reflection (communication objective) according to offered arguments by the results of the life cycle study and, therefore, generating changes in consumer behavior.

Figure 1 presents an infographic derived from the study of “Lamps”, which evaluated the environmental and economic performance of six different alternatives of lamps available in the market. For this graphical representation, it was taken into account data from the publication Light’s Labour’s Lost, from International Energy Agency (IEA), from 2006, which states that lighting accounts 20% of all electricity consumed in the world and it is estimated that 70% of this energy is consumed in low-efficiency lamps. The same figure also provides the communication case of the study called “Pools”, which sought to identify which type of water and pool treatment combines the best environmental and economic performance. As the results of the study demonstrate that the masonry pool and vinyl pool are equally eco-efficient (balanced environmental and economic performance), the communication approach was to highlight the differences between each alternative. Thus, inviting the reader to understand that, for instance, fiber pool is an alternative with high purchase cost and shorter lifetime and, consequently, higher energy consumption in its production process, when compared to other alternatives. Regarding pool water treatment, the use of hypochlorite requires high energy consumption in its manufacture, in addition to a higher cost when compared to UV and ozone.



Figure 1: Infographic derived from the studies of Lamps and Pools, respectively.

Another example can be found in Figure 2, which is presented by “Bath Showers” infographic, originated in a life cycle study that compares environmental and economic performance from three water heating alternatives (electric, solar panels and gas heating). The chart invites consumers to question bathing habits in one house facility; making him reflect that, in a residence with (up to) three residents taking one bath per day, the option with better balance between environmental and economic performance is the electric shower. From the drawing, readers can understand that if more people live in the residence and/or more baths are taken per day, the most indicated option changes (solar panels). Figure 2 also shows the “Roof” infographic, which explores the context of a theme faced by many large cities: “heat islands”. In the study, it was compared environmental and economic performance of three roof alternatives for residence: Ceramic, Green Roof and Cool Roof. Information from this infographic stimulates one to understand which are the contributions of each studied alternative for environmental and economic performance in order to offer thermal insulation to a residence. For example, due to its reflectiveness property, reflective blanket represents a smaller environmental constraint along the life cycle because this roof do not absorb the contribution of heat transmitted by radiation, reducing electric energy consumer for its cooling and maintaining thermal comfort inside the residence.

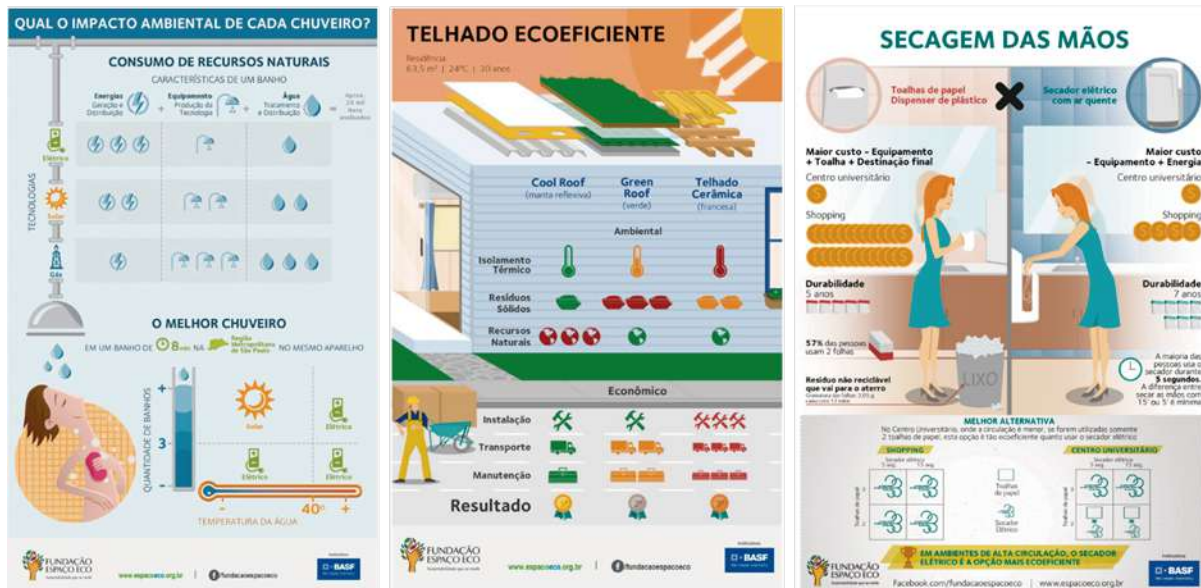


Figure 2: Infographic derived from the studies of Showers, Roofs and Hand Drying, respectively.

Finally, in the same Figure 2, another practical situation can be identified for consumers think about what is the best alternative for drying hands. Hand Drying systems study (CARVALHO et al 2016), compares economic and environmental performance, in this function service, of paper towels and electric hot air dryer in two surroundings: Shopping Malls and University Centers. This presentation also shows that the difference in economic and environmental performance between drying hands at different period of time is minimal. A greater difference can be seen between drying hands with more paper leaves.

4| CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

There is a clear guidance on FEE®'s search to inform society about how to evaluate the most ecoefficient alternatives and how to educate the consumer on selecting and using them. This is only possible when we offer content based on solid methodological bases and translate technical arguments into a language more accessible to the public of interest. Relate the daily consumer's choices makes it easier to understand the contribution to environmental impacts. In this regard, developed studies for public communication should have models that contemplate variations of consumption habits (ex. bath temperature or daily number of shower uses) and compare alternatives available on the market (ex. different lamp models).

Guided by these scenarios and arguments, FEE® directs its efforts in order to communicate – effectively – life cycle studies' results to public interest. And with that, FEE® believes that it influences positively consumers' choices. As limitation, the selection of cases was based on the existing possible samples and the range of its communications. Therefore, its impact to the desired audience as a selection criteria, suggests as a recommendation better method for monitoring spontaneous mentions in press vehicles (whether printed, TV, radio or web).

References

- CARVALHO et al. Análise de Ecoeficiência para secagem de mãos. V Congresso Brasileiro em Gestão de Ciclo de Vida, 2016
 IRIGARAY, H., VIANNA, A., NASSER, J. E LIMA, L. Estratégia para o ciclo de vida dos produtos. Gestão e desenvolvimento de produtos e marcas. Editora FGV, pp. 17-80, 3ª. Edição, 2006.
 KOTLER, P.; E KOTLER, K. Administração de Marketing. Editora Pearson Prentice Hall, 3ª Edição, 2006.
 MICKWITZ P, MELANEM M, ROSENSTROM U, SEPPALA J., Regional eco-efficiency indicators – a participatory approach. Journal of Cleaner Production, 2006.
 MOLINA, S. E SMITH, T. Exploring the use and impact of LCA-based information in corporate communications. International Journal of Life Cycle Assessment. Springer, pp. 1-4, 2008.
 MONTEIRO et al. O desafio da comunicação sobre Avaliação de Ciclo de Vida. V Congresso Brasileiro em Gestão de Ciclo de Vida, 2016.
 STRUNCK, G.. Como criar identidades visuais para marcas de sucesso. Editora Rio Books, pp.67, 3ª Edição, 2003
 THOLLENT, Michael J.M. Crítica metodológica, investigação social e enquete operária. São Paulo: Editora Polis, 1980.



SECTOR DE MINORISTAS EN AMERICA LATINA- MEJORANDO SUS PRODUCTOS DESDE EL DISEÑO

LATIN AMERICAN RETAIL SECTOR- IMPROVING ITS PRODUCTS BY DESIGN

Sonia Valdivia *, **Claire Kneller ****, **Giorgio Bagordo*****,
Mark Barthel****, **Svetlana Samayoa*******

* World Resources Forum & Leuphana Universität Lueneburg, Lerchenfeldstr. 2, CH 9014 Saint Gallen, Switzerland, Tel +41.76.562.986. E-mail: svaldiv@pucp.edu.pe

** WRAP, Blenheim Court, 19 George Street, Banbury OX16 5BH England. Tel. ++44 (0) 1295 819643. E-mail: Claire.Kneller@wrap.org.uk

*** WRAP, Blenheim Court, 19 George Street, Banbury OX16 5BH England. Tel. +44 (0) 1295 819633. E-mail: Giorgio.Bagordo@wrap.org.uk

**** 3Keel LLP, 11 Standingford House, 26 Cave Street, Oxford, OX4 1BA, England. Tel +44 (0)1865 236500. E-mail: mark.barthel@3keel.com

***** LAC Footprint Initiative/CICOMER. Eilenau 21, 22087 Hamburg, Germany. Tel +49 (0) 40 55898748. E-mail: ssamayoa@lac-footprint.com

ABSTRACT:

To influence consumer-purchasing decisions for more sustainable products, the engagement of retailers is essential. The paper aims to introduce an 18-month project with Latin American retailers, suppliers and policy makers to embed sustainable, low carbon thinking into New Product Development (NPD). The project aims to benchmark performance and communicate reliable sustainability information to consumers to help them make informed purchasing decisions. This is achieved by:

1. Working with major national and/or international retailers operating in Nicaragua, Honduras and Peru and their value chain partners to implement and embed sustainable product design tools into their NPD processes. Up to 80% of the impacts of a product or service are determined at the design stage, so the project will ensure that sustainability is systematically considered as part of NPD.

2. Creating client-side demand for high profile, sustainability-led consumer-facing advertising and communications campaigns that support a move to low carbon lifestyles.

3. Building capacity and best practices in Latin American organisations in sustainability-led advertising of consumer goods, via a 'Consumer Information Lab'. The Lab will combine lifecycle and design thinking, behavioural economics, local requirements and consumer insight and testing to create and run an impactful advertising campaign. The ultimate goal is to explore the effectiveness of promoting the sustainability attributes of products and services and in the context of achieving lower carbon, more sustainable lifestyles.

Learnings and recommendations will complement the presentation.

Keywords:

Retailers; eco-design; lifecycle thinking; low-carbon economy; sustainable lifestyles; Latin America.

RESUMEN:

Es fundamental involucrar a minoristas para influir en decisiones de compra sostenibles de consumidores. Esta publicación presenta un proyecto de 18 meses que involucra minoristas, proveedores y diseñadores de políticas de Latinoamérica, para incorporar el pensamiento de sostenibilidad y de bajo carbono en el Desarrollo de Nuevos Productos (DNP); su objetivo es comparar el rendimiento y comunicar información confiable de sostenibilidad a los consumidores para apoyar sus decisiones de compra. Esto se logra mediante:

1. La implementación de herramientas de diseño de productos sostenibles en procesos de DNP de los principales minoristas nacionales / internacionales de Perú, Honduras y Nicaragua y sus socios en la cadena de valor. Hasta 80% de los impactos de un producto/servicio pueden identificarse en la fase de diseño; el proyecto garantizará que la sostenibilidad se considere sistemáticamente en el DNP.

2. La creación de demanda a través de campañas publicitarias y de comunicaciones que apoyen la transición a estilos de vida bajos en carbono.

3. El fortalecimiento de capacidades y de mejores prácticas en organizaciones latinoamericanas sobre publicidad de sostenibilidad de bienes de consumo, a través de un "Laboratorio de Información del Consumidor" que combine el pensamiento de ciclo de vida y de diseño, la economía del comportamiento, requisitos locales, la perspectiva del consumidor y el testeo, para lograr campañas publicitarias impactantes. El objetivo es explorar la eficacia en la promoción de atributos de sostenibilidad de productos/servicios y la reducción del carbono por estilos de vida más sostenibles.

La publicación incluye lecciones aprendidas y recomendaciones.

Palabras clave:

Minoristas; eco-diseño; ciclo de vida; economía baja en carbono; estilos de vida sostenible; Latino América.



IMPACTOS AMBIENTALES DE LA SUSTITUCIÓN DE POLINES DE MADERA POR METÁLICOS EN VIÑAS

ENVIRONMENTAL IMPACTS OF WOOD POLES SUBSTITUTION BY METALS IN VINEYARD

PhD Marcia Vásquez Sandoval*, Dr. Alfredo Iriarte García**
y Dr. (c) Jorge Cornejo Troncoso ***

***Universidad de Talca**, Facultad de Ciencias Forestales. Departamento de Gestión Forestal Ambiental. Avda. Lircay s/n. Talca, CHILE. 56-71-2200431 mvasquez@utalca.cl

****Universidad de Talca**, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Industrial. Camino Los Niches Km Uno, Curicó, CHILE. 56-75-2201788 airiarte@utalca.cl

*****Universidad de Talca**, Instituto de Química de Recursos Naturales. Programa de Doctorado en Ciencias con mención en Investigación y Desarrollo en Productos Bioactivos. Avda. Lircay s/n. Talca, CHILE. 56-9-83660040 jorgecornejot@gmail.com

RESUMEN:

La industria vitivinícola ha tenido un importante desarrollo durante la última década en Chile, con el consiguiente incremento en la actividad agrícola para la producción y colecta de uva. Dentro de los aspectos operacionales que más implicancia económica tiene una viña está el establecimiento del sistema de soporte que mantiene a la planta guiada y apoyada en su etapa de crecimiento para la cosecha de su fruto. Nuevos diseños de plantación a mayor densidad y sistemas de cosechas requieren una mayor resistencia a las sollicitaciones de carga y vibración que ha hecho que los viñedos estén poco a poco convirtiendo sus sistemas de soporte de polines de madera impregnada por polines metálicos. Sin embargo, el mayor consumo de energía asociado a la fabricación de polines metálicos comparado con los polines de madera, podría reducir la sustentabilidad de esta actividad económica de importancia en el país.

Como parte del cumplimiento de la política ambiental de una empresa agrícola resulta de real interés evaluar y cuantificar impactos ambientales asociados a la producción y uso de ambos elementos, por lo cual el objetivo de este estudio es comparar, aplicando el Análisis de Ciclo de Vida, el perfil ambiental de ambos soportes. En el estudio se integra la información de plantas de impregnación de polines de madera de Pino radiata, proveedores de estructuras metálicas para uso agrícola y viñas de la Región del Maule que emplean ambos sistemas de soporte permitiendo determinar en forma objetiva la existencia de impactos ambientales y con ello proponer formas de mitigación.

ABSTRACT:

The wine industry has had an important development during the last decade in Chile, with consequential increments in the agricultural activity in the production and harvest of grapes. Among different operational aspects, one of the most economical implications in wines is the establishment of the support system that maintain the guiding and supporting plants in its growing phase for fruit harvest. New design of plantations at higher density and harvesting system require increased resistance to load stresses and vibrations that have changed, step by step, in vineyards from treated wood pole systems to metal pole systems. However, the higher consumption of energy associated with the fabrication of metal poles compared with treated wood poles could reduce the sustainability of this important economic activity in this country. As part of compliance with environmental policy of one agriculture enterprise the main interest is to evaluate and quantify environmental impacts associated to production and use of both systems, whereby the objective of this research is to compare, using the Life Cycle Assessment, the environmental profile of both support systems. This research is integrating information from wood treating plants of radiate pine, suppliers of metal structures for agricultural uses and vineyards from the Maule's Region that are using both support systems that allow to determine objectively the existence of environmental impacts and with that to propose forms of mitigation.

Palabras clave:

Viñas; Polines de madera impregnada; Polines metálicos; Impactos ambientales; Análisis de Ciclo de Vida

Keywords:

Vineyards; treated wood poles; metal poles; environmental impacts; Life Cycle Assessment



1 | INTRODUCCIÓN

El creciente desarrollo tecnológico de la viticultura chilena, está demandando información sobre diversos aspectos que permiten racionalizar el manejo del viñedo ya sea disminuyendo costos y/o aumentando los beneficios.

En la plantación de viñedos la mayor inversión la constituye el sistema de conducción y en este, los costos relevantes son del material necesario para su construcción. En algunos países se ha desarrollado toda una industria de postes metálicos, con tratamiento anticorrosivo y sistemas tipo mecano que dan alternativas de variar la posición de crucetas y alambres, a costo competitivos con los de la madera. A nivel nacional, el volumen requerido justifica evaluar el desarrollo de esta industria con el fin de sustituir los postes de madera relacionados con el impacto ambiental de la sustitución.

Se ha reportado que la sustitución de polines de madera por materiales como: cemento, plástico y metal permite reducir costos de mantención y de frecuencia de reemplazo (Mitham, 2010). Las empresas agrícolas han asumido el cumplimiento de una política ambiental que las compromete a evaluar y cuantificar descargas con el objeto de detectar excesos y establecer acciones correctivas, entre otras acciones. La preocupación ambiental en este caso, se plantea por el lado de la sustitución de polines de madera que requieren menos energía para su elaboración versus los polines metálicos. Los polines de madera impregnada requieren el uso de químicos los que pueden lixivarse y contaminar el suelo y cursos de agua, esto podría poner en riesgo sus ventajas ambientales. Sin embargo, tratamientos de vacío-presión con sales Cobre-Cromo-Arsénico (CCA) han demostrado su efectividad en el uso agrícola, por su alta inocuidad con el medio ambiente.

El acero galvanizado ofrece una opción de uso de metal libre de plomo, que está en relación con las normas de protección del medio ambiente. Polines elaborados de plástico o metal pueden ser reciclados en vez de ser enviados a vertederos. El incremento en resistencia de estos polines permite el uso de una menor cantidad de polines lo que podría reducir el costo del material (Mitham, 2010).

Análisis de impacto ambiental de postes de madera tratada versus otros materiales han demostrado el menor efecto en el medio ambiente en la producción y uso de estos elementos (Bolin and Smith, 2011, Arch Wood Protection, Inc. 2012). Por ejemplo, análisis de impactos ambientales de postes de madera para tendido eléctrico sustituidos por postes de concreto han demostrado menor generación de gases de efecto invernadero (consumo de combustibles fósil), acidificación, uso de agua y eutrofización. Cuando se comparan postes de madera tratados con penta y postes metálicos se reportan menores niveles para las mismas categorías de impacto anteriores, excepto para eutrofización que es muy similar.

Sin embargo, la generación de smog fotoquímico en postes tratados con penta es mayor que el smog emitido por postes con concreto y metálicos (Bolin and Smith, 2011).

La sustitución de la materialidad de los polines de madera por metal para lograr mayor rapidez a través de una cosecha mecanizada de los viñedos no ha considerado el consumo de energía y los impactos asociados al uso de ese material.

El objetivo de este estudio es comparar los impactos ambientales de polines de madera impregnados con sales CCA y polines de fierro galvanizado empleados en viñas de la Región del Maule de Chile, desde la extracción de las materias primas hasta su procesamiento, transporte y uso.

2 | METODOLOGÍA

La metodología del estudio se basa en las guías y principios de las normas ISO 14040 e ISO 14044 sobre Análisis de Ciclo de Vida.

Las etapas del ciclo de vida consideradas comprenden desde la extracción de la materia prima hasta su uso. El proyecto no considera la etapa de disposición final, dado que la diferencia de materiales posibilita diversas estrategias de reuso o reciclado del polín.

El programa computacional usado es SimaPro PhD versión y la base de datos es ecoinvent adaptada a las condiciones locales. Se crearan modelos para el sistema de polines de madera y de fierro galvanizado con el fin de determinar entradas (materias primas y energía) y salidas (producto y emisiones) durante la producción, el tratamiento y el uso de los polines. Los datos de producción y tratamiento de polines serán obtenidos de publicaciones. Mientras que los datos de uso serán obtenidos de primera fuente a través de cuestionarios que serán aplicados a viñateros de la comuna de Talca. Todos estos datos permitirán construir el Análisis de Inventario y determinar un set de categorías de impacto asociadas al medio ambiente (emisiones de gas de efecto invernadero reportado como calentamiento global, utilización de combustibles fósiles reportado como agotamiento de combustibles fósiles, acidificación, smog y eutrofización).

3 | RESULTADOS

Los resultados esperados del estudio son determinar los impactos ambientales de polines impregnados con CCA y de polines de fierro galvanizado utilizados en viñas de la Región del Maule. Además identificar si existen potenciales beneficios ambientales en el establecimiento de viñas con polines de madera impregnada con sales CCA versus polines de fierro galvanizado.

Agradecimientos

El presente proyecto cuenta con el apoyo de la Dirección de Investigación de la Universidad de Talca.

Referencias

- Arch Wood Protection, Inc. Environmental Life Cycle Assessment of Ammoniacal Copper Zinc Arsenate -Treated Utility Poles with Comparisons to Concrete, Galvanized Steel, and Fiber-Reinforced Composite Utility Poles. Conclusions and Summary Report. AquAeTer, Inc. 2012.
- Bolin C., Smith S. Life cycle assessment of pentachlorophenol-treated wooden utility poles with comparisons to steel and concrete utility poles. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2011. 15: 2475–2486.
- Mitham P. Alternatives to Wood Posts. Wines & Vines. 2010. <https://www.winesandvines.com>



Waste Management

CILCA 2017

VII Conferencia Internacional de
**Análisis de Ciclo de
Vida en Latinoamérica**

12 al 15 de junio de 2017

Medellín - Colombia



EFEITO DO TRATAMENTO DE MULTIFUNCIONALIDADES SOBRE OS IMPACTOS DA PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DA BIOMASSA

EFFECT OF MULTIFUNCTIONALITY TREATMENT ON THE IMPACT PROFILE OF ELECTRICITY PRODUCTION FROM BIOMASS

MSc. Claudia Cristina Sanchez Moore*, Maria Gorjão Clara*, Pedro Seckler*, PhD. Luiz Kulay*

* **Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**, Departamento de Engenharia Química.
Av. Prof. Lineu Prestes, 580, Bloco 18 – Conjunto das Químicas, 05424-970, São Paulo, SP, Brasil.
Teléfono (+55) 11 3091.2233
E-mail: ccristina569@usp.br

RESUMO:

Este estudo verificou e discutiu o efeito da forma de tratamento de situações de multifuncionalidade sobre o perfil de impacto da exportação de energia elétrica a partir de cogeração de biomassa de cana-de-açúcar, quando o produto é avaliado pela técnica de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). Quatro cenários de análise foram constituídos, tendo em conta critérios físicos e econômicos para distribuição de cargas ambientais. Caracterizou-se o desempenho de 1.0 kwh de eletricidade exportada no que se refere a Mudanças Climáticas (CC) e Demanda Primária de Energia (PED). Os resultados obtidos indicaram que a forma de repartição de cargas ambientais na etapa de moagem da cana-de-açúcar influencia de maneira decisiva os resultados globais de CC e PED. A ação mostra ser inclusive mais relevante em termos de desempenho ambiental do que a maneira como se dá a partilha de cargas ambientais no processo agrícola, etapa em que se notam os principais focos de efeitos adversos gerados no referido sistema de produto.

Palavras chave:

Multifuncionalidade; bioeletricidade; impactos ambientais; metodologia.

ABSTRACT:

This study verified and discussed the effect of the treatment of multifunctionality situations on the impact profile of the electricity cogeneration from sugarcane biomass when the product is evaluated by the Life Cycle Assessment technique (LCA). Four scenarios were established, taking into account physical and economic criteria for the distribution of environmental loads. The performance of 1.0 kwh of exported electricity in terms of Climate Change (CC) and Primary Energy Demand (PED) was characterized. The results indicate that the distribution of environmental loads in the sugarcane milling stage decisively influences the overall results of CC and PED. The action shows to be even more relevant in terms of environmental performance than the way in which environmental charges are shared in the agricultural process, a stage in which the main sources of adverse effects generated in the said product system are noted.

Keywords:

Multifunctionality, bioelectricity, environmental impacts, methodology

1 | INTRODUÇÃO

O setor alcooleiro do Brasil segue em expansão, mas para se manter competitivo tem feito investimentos em tecnologias capazes de oferecer produtos alternativos a açúcar e etanol. Neste contexto surge a chamada bioeletricidade produzida da combustão de biomassa de cana-de-açúcar (bagaço e palha) em ciclos Rankine de cogeração, em parcela suficiente para, além de atender a demanda elétrica de usinas e destilarias, ser também exportada para a rede concessionária. Um dos benefícios dos produtos de origem agrícola está no favorável desempenho ambiental (Caldeira-Pires et al, 2013), que ao ser quantificado via Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), pode se reverter em argumento consistente de comercialização. A ACV pode porém, gerar resultados variáveis, mas nem por isso metodologicamente incorretos, para um diagnóstico de desempenho ambiental. Isso ocorre em virtude de incertezas inerentes (i) à própria técnica, como de tratamento de multifuncionalidades (ii) ao tipo e a qualidade dos dados, ou mesmo, (iii) devido aos métodos selecionados para avaliação de impactos. Dentro do mesmo contexto, a lógica operativa usada por ferramentas computacionais de apoio a condução desses estudos é também fonte de incertezas de resultados. Alguns desses softwares predispoem que o praticante tenha que definir fatores para distribuição de cargas ambientais entre coprodutos de certo estágio do sistema em análise, mesmo que essas correntes constituam-se em ciclos internos daquele arranjo. Muito embora essa abordagem não se configure como uma situação clássica de multifuncionalidade, o tratamento a ela dispensado é semelhante. A literatura não dispõe sobre como abordar situações de tal natureza; no entanto, tal como ocorre com processos verdadeiramente multifuncionais deve-se buscar que tais decisões sejam razoáveis e equilibradas, respeitando-se particularidades que regem o sistema em estudo (Saade et al, 2015; Sandin et al, 2015).

O desempenho ambiental da geração elétrica em plantas movidas a biomassa de cana é tema de interesse da comunidade científica (Guerra et al, 2014; Silva et al, 2014). No entanto, não há registro de análises dos efeitos da repartição de cargas entre correntes que interligam etapas do mesmo sistema, devido a especificidades computacionais do software usado na condução da ACV. Este estudo se propõe a contribuir para o tema verificando tais consequências para um arranjo que exporta energia elétrica concomitantemente à síntese de etanol.

2 | METODOLOGIA

A análise ocorreu por comparação entre cenários, estruturados em função de critérios de distribuição de cargas para cada etapa multifuncional. A Tabela 1 indica as etapas multifuncionais do sistema de produto, descreve seus coprodutos, apresenta critérios possíveis para distribuição de cargas e atribui valores a eles.

Tabela 1. Identificação das etapas multifuncionais, coprodutos e critérios para distribuição de cargas

Etapa	Coproductos	Critério de distribuição de cargas		
		M	EN	ES
E ₁	Cana (C _N)	–	86.6	94.4
	Palha (P)	–	13.4	5.60
E ₂	Caldo (C _D)	78.5	55.5	–
	Bagaço (B _G)	21.5	44.5	–
E ₃	Etanol (95% _{w/w}) (E _T)	4.86	–	–
	Condensado (C _S)	26.5	–	–
	Vinhaça (V _N)	66.7	–	–
	Torta de filtro (T _F)	1.92	–	–
E ₄	Eletricidade exportada (E _E)	–	35.2	–
	Eletricidade de processo (E _P)	–	7,85	–
	Vapor de baixa pres. (V _P)	–	57.0	–
	Cinzas (C _Z)	–	0.00	–

Legenda: M: critério mássico; EN: critério energético; ES: critério econômico

Muito embora os critérios selecionados sugerissem diferentes opções de arranjos de critérios, quatro possibilidades foram verificadas. Em E₁ optou-se por (EN) e (ES) devido respectivamente, às funções finais de etanol e eletricidade serem energéticas, e aos seus valores de mercado. Em E₂ critérios mássico e energético foram considerados já que (C_D) não tem preço de mercado estabelecido. Em E₃ aplicou-se apenas (M), pois (V_N) e (T_F) não possuem valor energético nem econômico. Por fim, usou-se somente (EN) para repartir cargas ambientais em E₄. Embora essa decisão desconsidere (C_Z) para efeito de contribuição de impacto da cogeração, o critério em questão mostra-se mais homogêneo do que outras alternativas. A opção por (M) desobrigaria de cargas ambientais todas as correntes energéticas da cogeração, inclusive (EE). Já o uso de (ES) teria efeito inverso, restringindo as fontes de impacto a eletricidade exportada. A Tabela 2 descreve os cenários (C₁ – C₄) usados na análise, bem como o status dos critérios de distribuição de carga entre as diferentes etapas do sistema de produto.

Tabela 2. Cenários definidos para o estudo com destaque para os critérios selecionados em cada etapa

Etapa Cenário	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄
C ₁	EN	M	M	EN
C ₂	EN	EN	M	EN
C ₃	ES	M	M	EN
C ₄	ES	EN	M	EN

2.1. Modelagem do Ciclo de Vida

O estudo foi realizado em consonância com os termos estabelecidos pela norma NBR ISO 14044 (ABNT, 2009). O sistema de produto compreende as etapas apresentadas na Figura 1. Neste âmbito destaca-se a planta de cogeração que opera segundo ciclo Rankine usando todo bagaço obtido da moagem da cana ($ub = 50\%w/w$), além de 30% da palha ($up = 35\%w/w$) deixada no campo após concluir-se a colheita mecanizada. A combustão produz vapor superaquecido (67 bar; 4830C) (Guerra et al, 2014). A ACV foi aplicada sob o enfoque atribucional, e escopo do 'berço-ao-portão', tendo por Fluxo de Referência (FR) 'exportação de 1.0 kWh de eletricidade'. Dados primários foram empregados para representar as etapas industriais (produção de etanol e cogeração) do processo; já a modelagem da etapa agrícola ocorreu a partir de dados secundários.

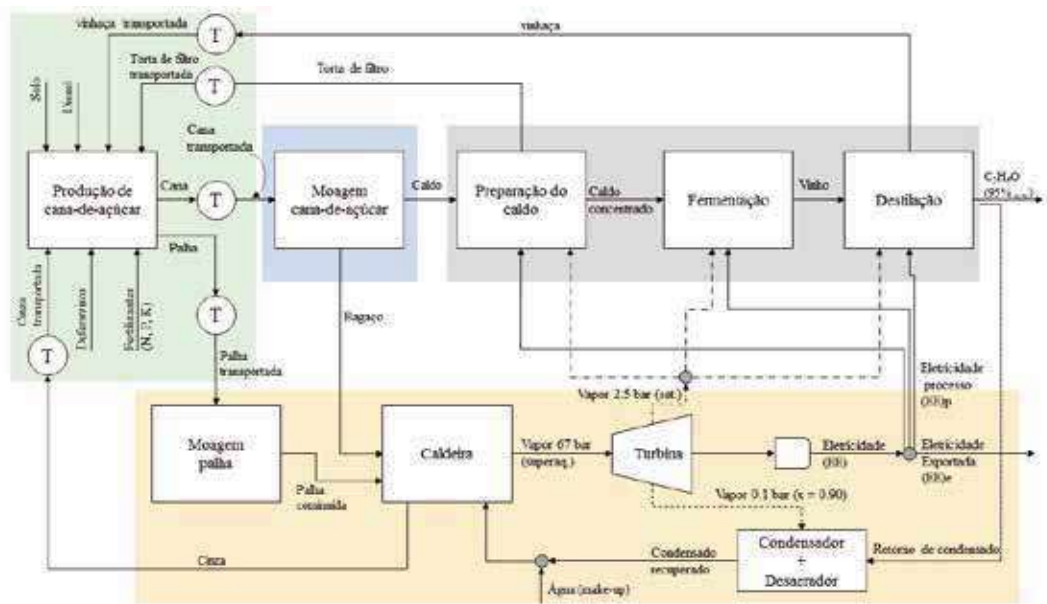


Figura 1. Sistema de produto para a produção e exportação de 1kWh de eletricidade

A cobertura geográfica circunscreveu o Estado de São Paulo, maior produtor brasileiro de cana-de-açúcar, enquanto a cobertura temporal observou o período 2015-2016 para os dados primários. De sua parte, a cobertura tecnológica observou tecnologias médias que representassem de forma adequada os processos praticados na região. A avaliação de impactos ocorreu a partir da aplicação dos métodos ReCiPe Midpoint (H) – v.1.12 para a Categoria de Mudanças Climáticas (MC), e Cumulative Energy Demand (CED) – v.1.09 para Primary Energy Demand (PED).

3| RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 mostra o desempenho ambiental da exportação de 1.0 kWh de eletricidade em termos de CC e PED para cada cenário estabelecido no estudo.

Tabela 3. Perfil ambiental para a produção de 1kWh de eletricidade exportada

Cenário	CC (g CO ₂ eq/FR)	PED (MJ/FR)
C ₁	912	106
C ₂	959	112
C ₃	893	104
C ₄	950	112

De maneira geral notaram-se variações discretas de desempenho ambiental por conta da aplicação dos diferentes critérios de partição de cargas. Tanto que entre os valores de desvio padrão para CC e PED foram respectivamente, 26 gCO₂eq/FR e 3.50 MJ/FR.

As contribuições mais expressivas para esses impactos ocorreram em E1 a despeito do cenário em análise. C2 apresenta incrementos de impacto com relação a C1 (CC: 5.15%; PED: 5.66%) por conta de atribuição mais expressiva de carga de E1 que a do congênera ao bagaço, a qual será imputada, mesmo que em parte, a EE. Fenômeno semelhante ocorre quando C4 supera C3 em 6.38% quanto a CC e 7.69% para PED.

A opção por E\$ ao invés de EN em E1 fez com que C3 fosse 2.08% menos impactante que C1 em termos de CC e 1.89% no tocante a PED. Isso ocorre uma vez que em C3 menos carga da etapa agrícola é atribuída a EE por meio da palha. Nesse caso, usa-se M como critério de distribuição de cargas em E2. Por outro lado, quando o processo multifuncional de E2 é tratado por EN a tendência se atenua, como no caso envolvendo C2 e C4, em que $CCC4 \approx CCC2$ ($\Delta = 0.94\%$), e $PEDC4 = PEDC2$. Por fim, percebe-se que variações na partição das cargas em E1 são menos influentes no desempenho global do sistema do que as promovidas em E2. Isso ocorre por conta da etapa agrícola gerar mais cana do que palha, condição que atenua a carga de E1 distribuída por esta última biomassa. De outra parte, alterações efetuadas sobre E2 são expressivas pois a atribuição de carga ao bagaço resulta em menor 'fuga' de carga do sistema via etanol. Esse fato explica os ganhos de desempenho de EE de C1 sobre C2, e C3 sobre C4.

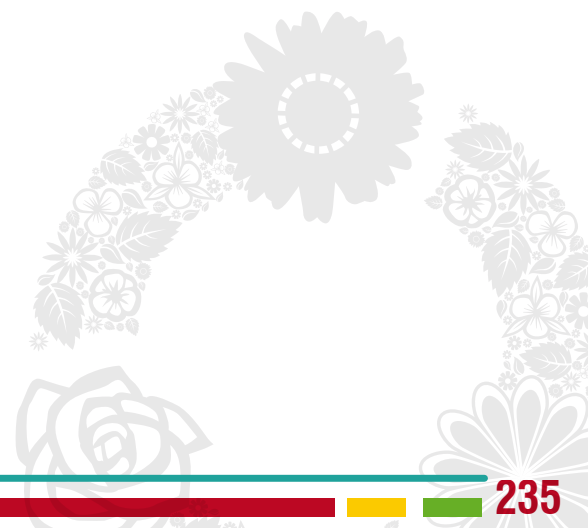
4 | CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que as decisões associadas a coprodutos de processos multifuncionais tem influência no perfil de impactos da eletricidade obtida da cogeração de biomassa de cana, mesmo que aquelas correntes representem ciclos internos do sistema de produto. Uma maior atribuição para a cana de carga ambiental gerada na etapa agrícola resulta em redução de impactos sobre EE. Por outro lado, o aumento da participação do bagaço nas cargas acumuladas até a moagem eleva os impactos sobre EE para o caso em que as demais situações funcionais existentes no sistema se mantiverem inalteradas.

Os achados decorrentes deste estudo sugerem que verificações capazes mensurar os graus de sensibilidade e incerteza associados aos resultados de uma ACV passem a ser efetuadas regularmente com vistas a conferir rigor a consistência ao diagnóstico.

Referências

- ABNT. NBR ISO 14044:2009: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas: 46 p. 2009.
- Caldeira-Pires A et al (2013). Sustainability of the Biorefinery Industry for Fuel Production. *Energies*, 6, 329-350.
- Guerra JPM et al (2014). Comparative analysis of electricity cogeneration scenarios in sugarcane production by LCA. *Int. J. Life Cycle Assess*, 19, 814 – 825.
- Saade M et al (2015). Appropriateness of environmental impact distribution methods to model blast furnace slag recycling in cement making. *Resour Conserv Recycl*, 99, 40 – 47.
- Sandin G et al (2015). Allocation in LCAs of biorefinery products: implications for results and decision-making. *J Clean Prod*, 93, 213 – 221.
- Silva D et al (2014). Life cycle assessment of the sugarcane bagasse electricity generation in Brazil. *Renew Sustain Energy Rev*, 32, 532 – 547.





APROVEITAMENTO DA BIOMASSA DE MACRÓFITA AQUÁTICA UTILIZADA EM WETLANDS CONSTRUÍDOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LATICÍNIO

USING AQUATIC MACROPHYTE BIOMASS FROM CONSTRUCTED WETLANDS OF DAIRY WASTEWATER TREATMENT

Rita de Cassia S. de Queiroz*, Fernanda dos Santos Sales***, Rodrigo Santos Andrade***,
Luciano B. Rodrigues **, José Adolfo de Almeida Neto ***

* IFBA, Instituto Federal da Bahia, Jequié – BA, Brasil & Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, UESC, Ilhéus, BA, Brasil

** UESB, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, BA, Brasil

***UESC, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, Brasil

+55 73 3680 5144. E-mail: jalmeida@uesc.br

RESUMO:

Objetivo: Comparar rotas de aproveitamento da biomassa da macrófita aquática *C. articulatus*, utilizada no tratamento de 1m³ de efluente de laticínio em wetlands construídas.

Métodos: Foi utilizada uma avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) com abordagem portão-a-portão para comparar o aproveitamento da biomassa na alimentação animal (C1) e produção de biogás e fertilizante (C2), utilizando 4 categorias do método ReCiPe midpoint e a Demanda Acumulada de Exergia (DAEx). Foram utilizados planilhas de cálculo eletrônicas e o software SimaPro© 8.2 no manuseio dos dados e cálculo dos impactos. Os dados primários foram obtidos de wetlands experimentais e os secundários da literatura e banco de dados.

Resultados e Discussão: C1 foi menos favorável do que C2 para as categorias de impacto de eutrofização e mudança climática, enquanto o resultado se inverte para depleção da camada de ozônio, acidificação terrestre e demanda acumulada de exergia. Somente a categoria DAEx em C1 apresentou impacto ambiental negativo.

Conclusões: Nenhuma das alternativas apresentou melhor desempenho ambiental em todas as categorias de impacto e a escolha depende de uma decisão em função de prioridades localmente definidas.

Palavras-chave: Biogás; Biofertilizante, Fitorremediação, Ecologia Industrial, Tecnologias Limpas.

Abstract

Objective: Comparing biomass utilization routes of the aquatic macrophyte *C. articulatus*, used in the treatment of 1m³ dairy effluent in constructed wetlands.

Methods: A life cycle impact assessment (LCIA) was used, with a gate-to-gate approach to compare the use of biomass in animal feed (C1) and biogas and fertilizer (C2) production, using four categories of the ReCiPe midpoint method and the Cumulative Demand of Exergy (DAEx). Electronic spreadsheets and SimaPro© 8.2 software were used in data handling and impact calculations. The primary data were obtained from experimental wetlands and the secondary out of literature and database.

Results and Discussion: C1 was less favorable than C2 for the impact categories of eutrophication and climate change, while the result is reversed for ozone layer depletion, terrestrial acidification and cumulative demand for exergy. Only the DAEx category in C1 had a negative environmental impact.

Conclusions: None of the alternatives presented better environmental performance in all impact categories and the choice depends on a decision based on locally defined priorities.

Keywords: Biogas; Biofertilizer, Phytoremediation, Industrial Ecology, Clean Technologies.

1 | INTRODUÇÃO

O beneficiamento de produtos lácteos resulta na geração de efluentes com elevada carga orgânica, os quais, se não forem devidamente tratados poderão trazer consequências danosas ao meio ambiente. Independente do tamanho do laticínio, o volume de efluente pode ser 2,5 vezes superior ao volume de leite processado (Slavov, 2017). As pequenas e médias empresas, por sua vez, apresentam limitações financeiras e dificuldades de acesso à tecnologias convencionais para a gestão adequada destes efluentes (Andrade et al., 2016).

A crescente problemática ambiental evidenciou a necessidade de incorporar a perspectiva ecológica nos meios de produção. A implantação da “infraestrutura verde” representa uma destas alternativas, constituindo uma estratégia sustentável que possibilita a contribuição de sistemas naturais, para a proteção da biodiversidade e o reuso de subprodutos e energia em processos produtivos, beneficiando o meio ambiente e as comunidades (Derkzen et al., 2017). A utilização de lagoas artificiais com macrófitas aquáticas, denominadas de wetlands, vem sendo empregada no tratamento de efluentes com este enfoque. Esta solução apresenta-se como uma alternativa para aplicação em laticínios, devido a sua eficiência na redução de carga orgânica e inorgânica, fácil operabilidade e manutenção, baixo custo, tolerância a variabilidade de efluentes, e grande potencial no reuso da água tratada e seus nutrientes (Wang et al., 2017).

O conceito de estrutura verde se alinha aos princípios da Ecologia Industrial, onde os sistemas produtivos são vistos de forma sistêmica, aliando tratamento e reaproveitamento de nutrientes e energia em diferentes sistemas de produto, buscando com isso ganhos econômicos e ambientais (Deutz; Ioppolo, 2015). Neste sentido, a Avaliação do Ciclo de vida vem se mostrando como um método consistente de avaliação da pertinência e viabilidade da integração desses sistemas (Maranduba et al., 2015).

Este trabalho comparou o desempenho ambiental de rotas de aproveitamento da biomassa da macrófita aquática *Cyperus articulatus*, cultivada em wetlands construídas, utilizada no tratamento de efluente de um laticínio de médio porte.

2 | METODOLOGIA

A pesquisa foi baseada nos princípios metodológicos das normas ISO (ISO 14040, 2006; ISO 14044, 2006). A unidade funcional foi definida como 1m³ de efluente tratado, considerando os objetivos do estudo. O sistema de produto da Figura 1 identifica as fronteiras, entradas e saídas e as duas alternativas de aproveitamento da biomassa da macrófita aquática *C. articulatus*, na alimentação animal (C1) e na produção de biogás e biofertilizante (C2).

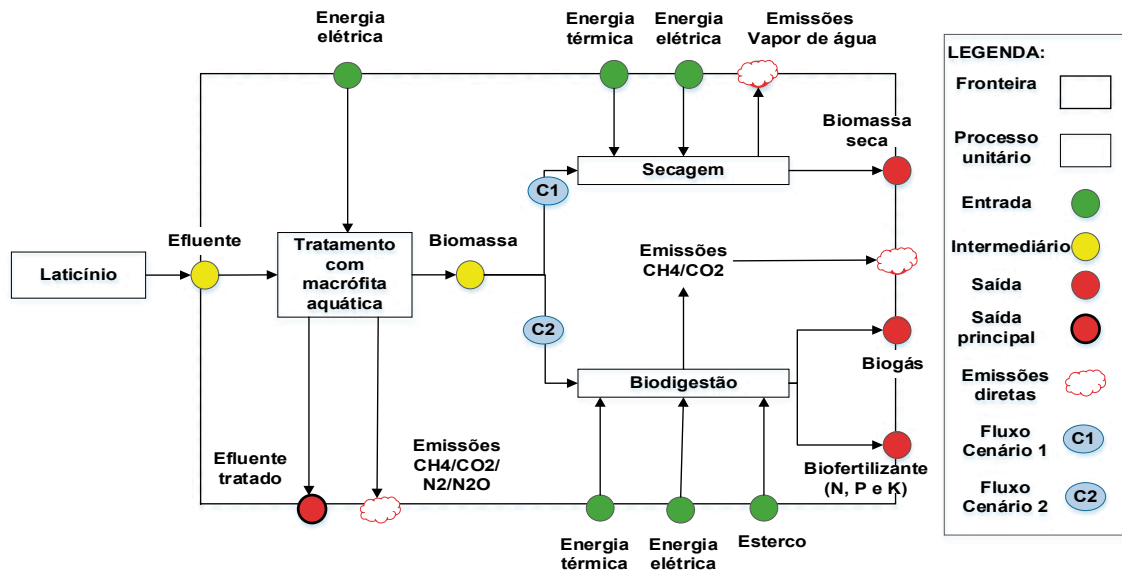


Figura 1 - Sistema de produto para o aproveitamento da biomassa após uso no tratamento de efluente

Foi utilizada uma abordagem portão-ao-portão na avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV), com base em 4 categorias de impacto do método ReCiPe Midpoint (eutrofização, mudança climática, depleção da camada de ozônio, acidificação terrestre) e a Demanda Acumulada de Exergia (DAEx). Os dados do inventário foram derivados de fontes primárias e secundárias (Tabela 1).

Tabela 1 - Inventário para a obtenção de 1 m³ de efluente de laticínio tratado

Processos	Produtos	Quantidade	Unidades	Fontes	
Tratamento com macrófita aquática (<i>Wetland</i>)	Entrada	Efluente	1,37	m ³	Calculado
		<i>Cyperus articulatus</i>	62,48	kg	Mensurado
		Energia elétrica (bomba d'água)	0,299	kWh	a
	Saída	Efluente tratado	1	m ³	Definida
		N ₂ O	7,07E-14	kg	b
		N ₂	1,68E-10	kg	b
Secagem	Saída	CH ₄	0,00112	kg	b
		CO ₂	0,606	kg	b
	Produto evitado	Água*	(1)	m ³	Definido
	Entrada	Energia elétrica (centrífuga)	2,21	kWh	a
		Energia elétrica (secador mecânico)	4,07	kWh	a
Biodigestão	Saída	Calor (secador mecânico)	135,58	MJ	a
		Biomassa seca	10,26	Kg	Mensurado
		Vapor d'água	31,69	Kg	a
	Produto evitado	Ração animal**	(10,26)	Kg	Definido
	Entrada	Energia térmica	1,96	MJ	a
Biodigestão	Saída	Energia elétrica	0,311	kWh	a
		Esterco bovino	0,030	kg	a
		Biogás (Calor)	0,41	m ³	a
		Substrato (biofertilizante)	67,27	kg	a e c
		Calor (eucalipto)***	(10,15)	MJ	Calculado
	Produto evitado	N (Uréia)	(1,40)	kg	c
		P (Superfosfato simples)	(0,38)	kg	C
	K (Cloreto de potássio)	(0,74)	kg	C	

a (Maranduba et al., 2016); b (Teiter; Mander, 2005) e c (Souza et al., 1999). *Produto evitado pela utilização do efluente tratado. ** Produto evitado pela utilização da biomassa seca como matéria-prima para produção de ração animal. *** Produto evitado pela utilização do biogás como energia térmica. **** Produtos evitados pela utilização do biofertilizante.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O cenário C2 apresentou impactos ambientais positivos em todas as categorias avaliadas, bem como na DAEx (Figura 2). C1 seguiu a mesma tendência, tendo apenas a DAEx apresentando impacto ambiental negativo devido ao uso de energia (lenha) requerida na secagem da biomassa. C1 também demonstrou ser menos favorável que C2 nas categorias de impacto Depleção da Camada de Ozônio e Acidificação Terrestre.

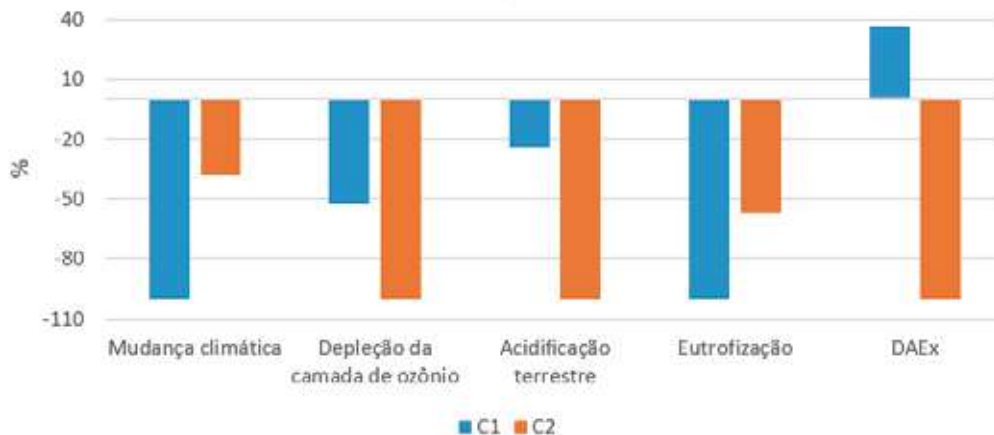


Figura 2 - Impactos ambientais dos cenários de aproveitamento da biomassa utilizada no tratamento de efluente de laticínio.

Considerando as incertezas, não foi encontrada diferença significativa ao nível de 95% de confiança entre as alternativas C1 e C2 para DAEx e eutrofização de água doce (Figura 3). Para as categorias acidificação terrestre (76%), mudança climática e depleção da camada de ozônio é possível afirmar que o cenário C1 foi comparativamente mais favorável que C2. Para a categoria mudança climática, o C2 é mais favorável que C1.

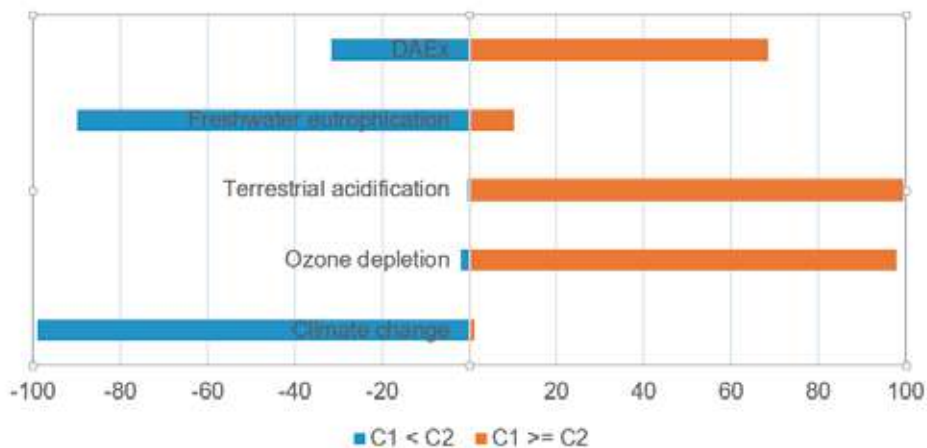


Figura 3 - Análise de incertezas entre os cenários C1 e C2

A maior contribuição positiva na alternativa de uso da biomassa como ração animal (C1) foi proveniente do crédito da produção evitada de ração animal a base de milho e soja, evitando, por exemplo, a emissão de 16 kg CO₂eq por m³ de efluente tratado. Os créditos oriundos da alternativa de aproveitamento energético e nutricional da biomassa (C2) evitou o uso de ureia (fertilizante), contribuindo nas categorias acidificação terrestre e depleção da camada de ozônio, com emissões evitadas de 0,03 kg SO₂ eq e 6,3 x10⁻⁷ kg CFC-11 eq, respectivamente.

4 | CONCLUSÕES

Nenhuma das alternativas apresentou melhor desempenho em todas as categorias de impacto ambiental avaliadas. A alternativa de uso da biomassa *C. articulatus* como ração animal foi a mais favorável na mitigação da emissão de gases do efeito estufa, enquanto o aproveitamento energético e nutricional (fertilizantes) alcançou o melhor desempenho para mitigar emissões de gases acidificantes e que destroem a camada de ozônio. Não foi possível afirmar qual a melhor alternativa com relação a emissão de substâncias eutrofizantes e na demanda exergética acumulada.

Agradecimentos

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (476725/4572012-7; 313293/2014-7) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (Fapesb) (PAM0017/2014)

Referências

- ANDRADE, R. S.; ALMEIDA NETO, J. A. de; QUEIROZ, R. D. C. S. de. Valorização biotecnológica de soro de leite por fermentação utilizando *Saccharomyces cerevisiae*. *Estudos Tecnológicos em Engenharia*, v. 11, n. 2, p. 82–91, 2016. Disponível em: <http://www.revistas.unisinos.br/index.php/estudos_tecnologicos/article/view/9193>.
- DERKZEN, M. L.; VAN TEEFFELN, A. J. A.; VERBURG, P. H. Green infrastructure for urban climate adaptation: How do residents??? views on climate impacts and green infrastructure shape adaptation preferences? *Landscape and Urban Planning*, v. 157, n. January, p. 106–130, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.05.027>>.
- DEUTZ, P.; IOPPOLO, G. From Theory to Practice: Enhancing the Potential Policy Impact of Industrial Ecology. *Sustainability*, v. 7, n. 2, p. 2259–2273, 2015. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2071-1050/7/2/2259/htm>>.
- ISO 14040, 2006. Environmental management—life cycle assessment—principles and framework, 28.
- ISO 14044, 2006. Environmental management—life cycle assessment—requirements and guidelines, 54.
- MARANDUBA, H. L.; ROBRA, S.; NASCIMENTO, I. A.; DA CRUZ, R. S.; RODRIGUES, L. B.; ALMEIDA NETO, J. A. de. Improving the energy balance of microalgae biodiesel: Synergy with an autonomous sugarcane ethanol distillery. *Energy*, v. 115, n. November, p. 888–895, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.09.061>>.
- MARANDUBA, H. L.; ROBRA, S.; NASCIMENTO, I. A.; DA CRUZ, R. S.; RODRIGUES, L. B.; DE ALMEIDA NETO, J. A. Reducing the life cycle GHG emissions of microalgal biodiesel through integration with ethanol production system. *Bioresource Technology*, v. 194, p. 21–27, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2015.06.113>>.
- SLAVOV, A. K. Dairy Wastewaters – General Characteristics and Treatment Possibilities – A Review. *Food Technology and Biotechnology*, v. 55, n. 1, 2017. Disponível em: <http://www.ftb.com.hr/images/InPress/4520-in_press.pdf>.
- SOUZA, L. S.; VELINI, E. D.; MAIMONI-RODELLA, R. C. S.; MARTINS, D. Teores De Macro E Micronutrientes E a Relação C/N De Várias Espécies De Plantas Daninhas. *Planta Daninha*, v. 17, n. 1, p. 163–167, 1999. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pd/v17n1/a15v17n1.pdf>>.
- TEITER, S.; MANDER, Ü. Emission of N₂O, N₂, CH₄, and CO₂ from constructed wetlands for wastewater treatment and from riparian buffer zones. *Ecological Engineering*, v. 25, n. 5, p. 528–541, 2005.
- WANG, M.; ZHANG, D. Q.; DONG, J. W.; TAN, S. K. Constructed wetlands for wastewater treatment in cold climate — A review. *Journal of Environmental Sciences*, fev. 2017. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1001074217303108>>.





ANÁLISIS EXERGOAMBIENTAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CALOR Y POTENCIA A PARTIR DE LA GASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES.

EXERGOENVIRONMENTAL ANALYSIS OF HEAT AND POWER PRODUCTION PROCESS BASED ON MUNICIPAL SOLID WASTE GASIFICATION.

ANÁLISE EXERGOAMBIENTAL DE CALOR E PODER PROCESSO DE PRODUÇÃO PARTIR DA GASEIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.

PhD. Autor1 Yannay Casas Ledón*, Ing. Autor2 Freddy Spaudio*
PhD. Autor3 Luis E Arteaga Perez **

* **Institución 1**, Departamento de Ingeniería Ambiental. Facultad Ciencias Ambientales-Centro EULA, Universidad de Concepción, Chile.

Teléfono y Fax, (+5641) 266 1074.

E-mail: {ycasas, fspaudio}@udec.cl.

** **Institución 2**, Unidad de Desarrollo Tecnológico, Universidad de Concepción, Chile.

Teléfono y Fax, (+5641) 266 1855.

E-mail: : l.arteaga@udt.cl.

RESUMEN:

El presente estudio evalúa los impactos ambientales asociados a la valorización energética de los residuos sólidos municipales (RSM) a través de la tecnología de gasificación y su integración a un ciclo combinado de calor y electricidad aplicando el análisis exergoambiental. Dicha herramienta combina las potencialidades del análisis exergetico y la evaluación del ciclo de vida (ACV), permitiendo cuantificar e identificar los mayores impactos asociados a las ineficiencias termodinámicas para cada componente del sistema. Los resultados muestran que el gasificador tienen las mayores contribuciones sobre los impactos ambientales totales (1.71 mPts/s), representando el 60% del total causado principalmente a la formación de contaminantes gaseosos. En general, el estudio ambiental sugiere que se debe mejorar la eficiencia termodinámica de proceso y reducir la formación de contaminantes. Además, El costo ambiental de producir un kWh de electricidad toma valores cercanos a 13 mPts/kWh, siendo menores que los procesos tradicionales de generación de electricidad a partir de fuentes no renovables (22-26 mPts/kWh). Por otra parte, el impacto ambiental de la generación de calor (0.7 mPts/MJ) están en concordancia con los obtenidos a partir de madera (1.6 mPts/MJ) y lignina (3.2 mPts/MJ).

Palabras claves:

Gasificación RSM., Análisis exergetico., ACV., Evaluación exergoambiental.

Palavras-chave:

Gaseificação RSM., Análise exergetica., Análise do ciclo de vida., Avaliação exergoambiental

ABSTRACT:

This paper investigates the environmental aspects of a MSW-based Integrated Combined Cycle (WICC) for heat and power production through an exergoenvironmental analysis. This tool is based on two principles representing the fundamental connection between thermodynamics and environmental impacts, identifying and quantifying the location, causes and environmental impact of thermodynamic inefficiencies in a given system. The results show that the largest destruction is associated to gasifier (1200 kWh), representing a 45% of total exergy losses. At the same time, the gasifier also depicted the higher environmental impact (1.71 mPts/s), contributing 60% of total environmental impact. This performance is mainly caused by pollutants formation (61%). The exergoenvironmental analysis emphasizes the importance of thermodynamic efficiency and pollutants formation for reducing the environmental impact associated with the system. Moreover, the environmental impact per exergy unit of electricity is 13 mPts/kWh. This value is significantly lower than traditional and advanced layout of combined cycle for heat and power (22–26 mPts/kWh) using natural gas as feedstock. On the other hand, the environmental impact by district heating (0.7 mPts/MJ) is in good agreement and lower with that obtained for fired heating system using wood (1.6 mPts/MJ) and lignin (3.2 mPts/MJ).

Keywords:

MSW gasification., Exergy analysis., LCA., Exergoenvironmental evaluation.

1 | INTRODUCCIÓN

La generación mundial de residuos sólidos municipales (RSM) se estima aproximadamente 1.3 millones de toneladas para el 2012, la cual se proyecta un incremento significativo de hasta 2.2 mil millones para el 2025 (Hoorweg and Bhada-Tata, 2012). Este comportamiento es consecuencia del incremento de la población mundial, los cambios en los patrones de consumo, el desarrollo económico regional, la rápida urbanización e industrialización. En consecuencia, la búsqueda de soluciones sostenibles para la disposición o utilización de los RSM se ha convertido en un desafío para las autoridades municipales. Por otra parte, más del 50% de los residuos municipales tienen potencial para ser valorizado energéticamente. En este sentido, la gasificación presenta varias ventajas en comparación con las alternativas tradicionales de recuperación de energía, constituyendo un método eficiente, seguro, limpio y rentable para la generación de energía (Tan et al., 2015). La mayoría de las publicaciones sobre la gasificación de RSM y su aplicación energética se centran en la factibilidad técnico-económica. Sin embargo, el beneficio económico no siempre implica un beneficio ambiental. Por lo tanto, el análisis ambiental puede ser útil en la toma de decisiones sobre la implementación de la tecnología de ciclo combinado integrado a sistemas de gasificación. El análisis exergoambiental es una herramienta poderosa, ya que revela el impacto ambiental asociado a cada componente dentro de un sistema y las fuentes reales de este impacto mediante la combinación del análisis de exergía (Tsatsaronis, 2011) con la metodología de evaluación del ciclo de vida (ACV) (ISO 14040, 2006). Esta herramienta es nueva pero ha sido ampliamente utilizada para los sistemas de conversión energética, tales como: sistemas convencionales y avanzados de calefacción urbana (Yürüsoy and Keçebas, 2017), celda combustible de óxido sólido integrado a la gasificación de biomasa (Meyer et al., 2009), producción de hidrógeno (Boyano et al., 2011; Ozbilen et al., 2016), ciclo combinado de refrigeración, calefacción y energía (CCHP) integrado a energía solar-geotérmica (Boyangchi and Chavoshi, 2017). Como se puede evidenciar, no existe hasta el momento reportes sobre la evaluación del desempeño ambiental de la gasificación de RSM integrada con un ciclo combinado (WICC). Por lo tanto, el objetivo principal de este estudio es establecer un marco teórico para la modelación y evaluación del desempeño ambiental de un sistema WICC.

2 | METODOLOGÍA

2.1. Descripción del proceso

Los RSM ingresan al sistema después de ser recibidos y clasificados en el vertedero y posteriormente secados (15%) según se muestra en la Figura 1. Los desechos se convierten en gas de síntesis usando aire como medio oxidante con una relación de oxidantes/residuos de 2.5 y temperatura de 850°C (Arteaga-Pérez et al., 2015). El contenido de impurezas en el gas es eliminado mediante un sistema de limpieza que compone ciclón y filtro. Las impurezas el gas de síntesis cumple con las normas (5 mg/m³N) requeridas por la turbina de gas. Los gases limpios entran a la cámara de combustión y se queman con aire comprimido a una temperatura inferior a 1200°C. Los gases calientes se expanden en la turbina para producir energía y luego se enfrían en el generador de vapor de recuperación de calor (HRSG). El vapor del HRSG impulsa una turbina y después se utiliza como medio de secado en el gasificador. El vapor a baja presión que sale del secador se utiliza como fuente de calentamiento en un sistema de calefacción urbana. El proceso en estudio es simulado mediante el software Aspen One v 9.0. Mayores detalles del proceso están disponibles en un artículo Casas Ledón et al., (2016).

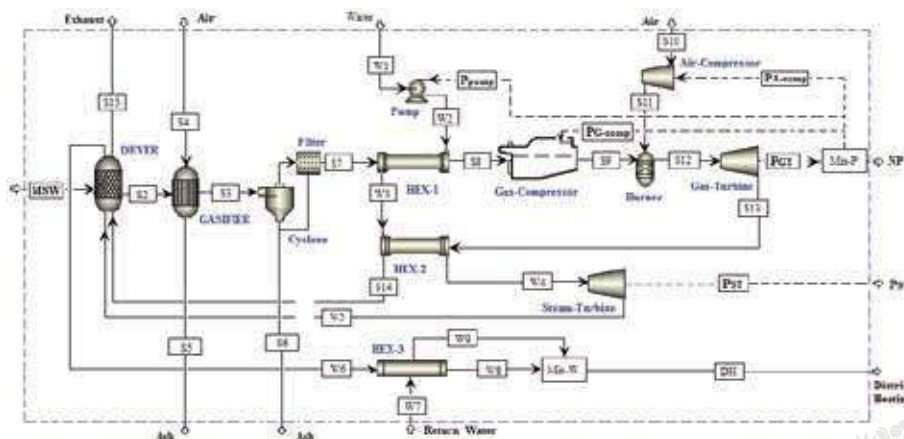


Figura 1. Diagrama de flujo del sistema WICC.

2.2. Metodología análisis exergoambiental

El análisis exergoambiental es un método basado en dos principios que representan la conexión fundamental entre la termodinámica y los impactos ambientales (Meyer et al., 2009; Tsatsaronis, 2011). El análisis exergoambiental implica tres pasos:

- El primer paso constituye un análisis exergético, donde se determinan el contenido exergético de combustible, recursos y emisiones, así como la eficiencia exergética y las pérdidas asociadas a las irreversibilidades.

- En la segunda etapa, los efectos ambientales se determinan mediante la metodología de evaluación del ciclo de vida (ACV), considerando el impacto ambiental asociado a los insumos, los productos y la fabricación del equipamiento. En este caso, el método Eco-indicador 99 se aplicó con el software SimaPro 8.1.

Primeramente se establecen los balances de los impactos ambientales para cada componente del sistema (Tsatsaronis, 2011).

$$B_{p,k} = B_{F,k} + (Y_k + B_{PF,k})$$

Donde $B_{p,k}$ representa la formación de contaminantes teniendo en cuenta principalmente las emisiones de CO, CO₂ y CH₄ generadas en el gasificador y el quemador. El parámetro Y_k es el impacto ambiental de la fase de manufactura.

-El tercer paso, se lleva a cabo la valoración ambiental. Las variables medioambientales se definen para cada componente del sistema en analogía con el análisis exergoeconómico (Meyer et al., 2009). Se utilizaron para este estudio la diferencia relativa ($r_{b,k}$), el factor exergoambiental ($f_{b,k}$), el impacto ambiental asociado a la destrucción de exergía ($B_{D,k}$) y el impacto ambiental total (B_{tot}) de la planta.

3| RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis exergoambiental

En la Tabla 1 se resumen las principales variables exergoambientales estimadas para el sistema. El valor de la diferencia relativa representa el potencial de mejora dentro de proceso global y cada uno de sus componentes. Para el sistema completo este factor es de 436%, lo que sugiere que sería posible alcanzar una mayor eficiencia en el sistema a bajos costos. El gasificador es claramente el componente con mayores contribuciones ($B_{tot,k} = 1,71$ mPts/s) al impacto ambiental total, debido a los impactos asociados a la formación de contaminantes, que representa el 87% del impacto total del gasificador. Este comportamiento se relaciona a los fenómenos termodinámicos y cinéticos de la gasificación de los RSM (Casas Ledón et al., 2016).

Componentes	Y_k (mPts/s)	$B_{PF,k}$ (mPts/s)	$B_{tot,k} = Y_k + B_{PF,k} + B_{D,k}$ (mPts/s)	$b_{f,k}$ (mPts/MJ)	$b_{p,k}$ (mPts/MJ)	$r_{b,k}$ (%)	$f_{b,k}$ (%)
Secador	0.002		0.14	1.29	4.48	0.53	0.98
Gasificador	0.041	1.45	1.71	0.13	1.05	372	90
Bomba	0.003		0.003	1.21	5.88	348	98
HEX1	0.002		0.01	1.08	1.14	0.67	14
HEX2	0.003		0.18	1.19	1.71	0.46	1.50
Compresor gas	0.002		0.002	1.21	1.22	0.47	99
Quemador	0.009	0.02	0.12	1.14	1.19	1.09	24
Turbina Gas	0.014		0.02	1.19	1.21	0.75	50
Compresor Aire	0.002		0.01	1.21	1.24	0.33	12
Turbina vapor	0.014		0.24	1.46	2.72	2.82	5.89
HEX3	0.011		0.34	1.46	6.48	2.53	3.18
Proceso global	0.103	1.47	2,82	0,11	1,39	436	56
Impacto ambiental electricidad			13 mPts/kWh				
Impacto ambiental del calor			0.7 mPts/MJ				

Para el proceso global, el valor $f_{b,k}$ (56%) muestra que el impacto de la fabricación y la formación de contaminantes (66%) fueron mayores que el impacto de las pérdidas exergéticas (44%). Por lo tanto, las medidas de mejoras deben centrarse en aumentar la eficiencia del proceso y reducir la formación de contaminantes. Los valores de los factores exergoambientales obtenidos para el gasificador (90%), la bomba (98%) y el compresor de gas (99%) sugieren una reducción del impacto de la fabricación. Mientras que una mejora en la eficiencia termodinámica y la reducción del impacto de la fabricación en la turbina de gas ($30% < f_{b,k} < 70%$) deben ser consideradas. Además, los bajos valores de $f_{b,k}$ (menos del 30%) para el secador, HEX, quemador, compresor de aire y turbina de vapor indican una reducción de la destrucción de la exergía. El impacto ambiental por kWh de electricidad generado en todo el proceso fue de 13 mPts/kWh. Este valor es significativamente menor que para ciclos combinados tradicionales y avanzados (22-26 mPts/kWh) utilizando el gas natural. El impacto ambiental de calefacción urbana (DH) es de 0,7 mPts/MJ. Dichos resultados concuerdan con los reportados para sistemas de calefacción de leña (1.6 mPts/MJ) y lignina (3.2 mPts/MJ).

4 | CONCLUSIONES

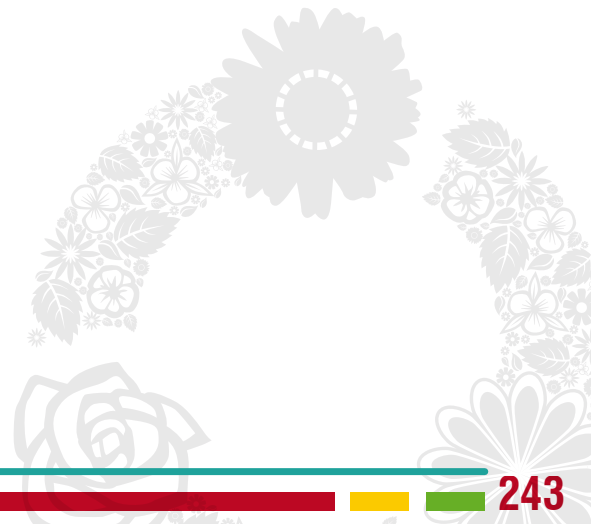
En este trabajo se aplica por primera vez el análisis exergoambiental al sistema de valorización energética de los RSM mediante la integración de los procesos de gasificación y ciclos combinados. El factor exergoambiental (fb,k) del gasificador indica que necesita aumentar su eficiencia exergética y reducir la formación de contaminantes para mejorar el rendimiento general y reducir el impacto ambiental total. Además, el bajo valor obtenido para el impacto ambiental de la electricidad (13 mPts/kWh) y el calor (0.7 mPts/MJ) hace que esta alternativa sea competitiva en comparación con sistemas de conversión de energía similares.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los proyectos FONDECYT N° 11150148 (LA) y Basal CONICYT PFB-27 de la Unidad de Desarrollo Tecnológico (UDT) por el apoyo financiero.

Referencias

- Arteaga-Pérez, L.E., Gómez-Cápiro, O., Karelavic, A., Jiménez, R., 2015. A modelling approach to the techno-economics of Biomass-to-SNG/Methanol systems: Standalone vs Integrated topologies. *Chem. Eng. J.* 286, 663–678.
- Boyaghchi, F.A., Chavoshi, M., 2017. Multi-criteria optimization of a micro solar-geothermal CCHP system applying water/CuO nanofluid based on exergy, exergoeconomic and exergoenvironmental concepts. *Appl. Therm. Eng.* 112, 660–675.
- Boyano, a., Blanco-Marigorta, a. M., Morosuk, T., Tsatsaronis, G., 2011. Exergoenvironmental analysis of a steam methane reforming process for hydrogen production. *Energy* 36, 2202–2214.
- Casas Ledón, Y., González, P., Concha, S., Zaror, C. a., Arteaga-Pérez, L.E., 2016. Exergoeconomic valuation of a waste-based integrated combined cycle (WICC) for heat and power production. *Energy* 114, 239–252.
- Hoorweg, D., & Bhada-Tata, P., 2012. What a waste: A Global Review of Solid Waste Management, 116. Urban Development & Local Government Unit. World Bank, Washington, DC 20433 USA. www.worldbank.org/urban2012
- ISO 14040, 2006. The International Standards Organisation. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. ISO 14040.
- Meyer, L., Castillo, R., Buchgeister, J., Tsatsaronis, G., 2009. Application of exergoeconomic and exergoenvironmental analysis to an SOFC system with an allothermal biomass gasifier. *Int. J. Thermodyn.* 12, 177–186.
- Ozbilen, A., Dincer, I., Rosen, M. a., 2016. Development of a four-step Cu-Cl cycle for hydrogen production -Part I: Exergoeconomic and exergoenvironmental analyses. *Int. J. Hydrogen Energy* 41, 7814–7825.
- Tan, S.T., Ho, W.S., Hashim, H., Lee, C.T., Taib, M.R., Ho, C.S., 2015. Energy , economic and environmental (3E) analysis of waste-to-energy (WTE) strategies for municipal solid waste (MSW) management in. *Energy Convers. Manag.* 102, 111–120.
- Tsatsaronis, G., 2011. Exergoeconomics and exergoenvironmental analysis, in: *Thermodynamics and the Destruction of Resources*. Cambridge University Press.
- Yürüsoy, M., Keçebas, A., 2017. Advanced exergo-environmental analyses and assessments of a real district heating system with geothermal energy 113, 449–459.





ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV) DE SISTEMAS INTEGRADOS DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA CIDADES DE MEDIO PORTE

LIFE CYCLE ANALYSIS (LCA) OF INTEGRATED TREATMENT AND DISPOSAL SYSTEMS OF MUNICIPAL SOLID WASTE TO MEDIUM SCALE CITIES

MSc. Aline Isabel Melo Henriques*, PhD. Jose Carlos Escobar Palacio ** PhD Electo Eduardo Silva Lora ***

* **Universidade Federal de Itajubá**, Instituto de Engenharia Mecânica - IEM, NEST.
Av. BPS, 1303 - Bairro: Pinheirinho Itajubá - MG, Brasil. Telefax: +55 (35) 3629-1355. alinelm3@gmail.com

** **Universidade Federal de Itajubá**, Instituto de Engenharia Mecânica - IEM, NEST.
Av. BPS, 1303 - Bairro: Pinheirinho Itajubá - MG, Brasil. Telefax: +55 (35) 3629-1355. jocescobar@gmail.com

RESUMO:

Considerando-se a necessidade de aprofundar o conhecimento da gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) e seus efeitos no ambiente natural, este trabalho procurou contribuir analisando diferentes rotas de aproveitamento energético de RSU. Foram utilizadas as características de geração de RSU do Consórcio Intermunicipal dos Municípios da Microrregião do Alto Sapucaí Consorcio (CIMASAS) conformada por 11 municípios brasileiros, com vistas à comparação de seis cenários distintos: Cenário 1 (Cenário referência) – Aterro Sanitário sem recuperação energética e queima em Flare; o Cenário 2 - Aterro Sanitário com recuperação energética em MCI; Cenário 3 - Sistema de tratamento de resíduos com biodigestão anaeróbia e recuperação energética em MCI, Cenário 4 - Sistema de tratamento de resíduos com gaseificação e geração de eletricidade em MCI; o Cenário 5 – Sistema de tratamento de resíduos com reciclagem e Cenário 6 - Sistema integrado de tratamento de resíduos. Na análise ambiental foi utilizada a avaliação do ciclo de vida (ACV) para consolidar os inventários dos cenários, considerando-se uso de materiais, energia, além das emissões, com posterior avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV) pelo software SimaPro, utilizando o método CML IA baseline, para cinco categorias de impacto (aquecimento global, depleção abiótica, depleção da camada de ozônio, acidificação e eutrofização). Os resultados majoritariamente indicaram melhor desempenho ambiental no sistema integrado, apresenta benefícios na geração de energia, materiais que podem ser comercializados e biofertilizante.

Palavras-Chave:

ACV, aterro sanitário, biogás, digestão anaeróbia, gaseificação, reciclagem, eficiência energética, RSU.

ABSTRACT:

Deepening the management of urban solid waste (RSU) and its impacts on the environment, this work seeks to contribute to analyze different routes of energy use of MSW. For this purpose, the Intermunicipal Consortium of Municipalities of the Alto Sapucaí Microregion (CIMASAS) was formed by 11 Brazilian municipalities with a medium-scale population range, 6 scenarios were compared: 1. Conventional sanitary landfill, 2. Sanitary landfill with energy recovery, 3. Treatment system with Anaerobic Digestion (DA), 4. Gasification treatment system, 5. Treatment system with recycling and 6. Integrated system (DA, gasifier and recycling) all scenarios except 1 and 5 used an internal combustion engine. For the environmental analysis was used Life Cycle Analysis, inventories were prepared for each scenario, considering the use of materials, energy and emissions. We used the SimaPro software, and the CML IA baseline method, we analyzed 5 impact categories (Global warming, abiotic depletion, depletion of the ozone layer, acidification and eutrophication). The results confirm the need to reduce waste disposal in landfills, which is the worst case scenario for all impact categories. It presents better environmental and energy performance in the integrated system, as well as use of recycled materials and biofertilizer, which can be commercialized.

Keywords:

LCA, landfill, biogas, anaerobic digestion, gasification, recycling, MSW.



1 | INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) são uma preocupação a nível mundial, inevitavelmente gerados pelas atividades da população; sendo que o crescimento populacional leva também a um consumo desmedido de recursos naturais (ACHILLAS et al., 2011; CLEARY, 2009). Na hierarquia, Lisney et al. (2003) abordam a recuperação de energia como necessária para a gestão sustentável dos resíduos. Na seleção de alternativas para a disposição final dos resíduos é importante considerar os riscos decorrentes da implementação de cada uma e os impactos ambientais que podem ser causados (FRUERGARD e ASTRUP, 2011), com este fim é utilizada a análise do Ciclo de Vida (ACV), que tem provado ser uma ferramenta adequada para proporcionar uma comparação entre as tecnologias de gestão de resíduos.

A maioria dos estudos tem se focado em comparações entre tecnologias específicas como são a incineração e o aterro sanitário, as mais comuns de encontrar nos grandes núcleos populacionais. Porém, ainda há a necessidade de um estudo abrangente sobre a viabilidade das estratégias WtE para RSU em cidades de médio porte no Brasil. O objetivo deste trabalho é a avaliação ambiental de diferentes alternativas de tratamento e disposição final dos RSU para populações de médio porte, incluindo a sua conversão energética, e utilizando a análise do ciclo de vida - ACV para isso seis cenários, foram considerados neste estudo, propondo um sistema integrado.

2 | METODOLOGIA

A metodologia abordada neste trabalho permite a análise e comparação, sob o aspecto ambiental de diferentes alternativas de tratamento e disposição final dos RSU. Como estudo de caso será utilizado o Consórcio Intermunicipal dos Municípios da Microrregião do Alto Sapucaí (CIMASAS), no estado de Minas Gerais no Brasil.

Dados de Entrada. Em uma primeira fase, foram considerados como dados de entrada a geração de RSU, a composição gravimétrica e elementar dos RSU, assim como o pré-tratamento e tratamento necessário, possibilidade de recuperação energética, uso de materiais primas e as emissões geradas durante a vida útil do projeto.

Aterro Sanitário de Itajubá. O aterro sanitário se encontra localizado no município de Itajubá, na região Sul do estado de Minas Gerais, a 12 km do centro da cidade. Possui uma área de 56,9 hectares, com vida útil de projeto de 20 anos. O aterro iniciou suas operações em janeiro de 2010 (GONÇALVES, 2007). O consórcio CIMASAS está formado por 11 municípios do estado de Minas Gerais, com uma população de 203.983 habitantes (IBGE, 2015), na faixa entre 100.000 e 300.000 habitantes, que segundo o BNDES (2014), é considerada de médio porte. Esse rango populacional tem sido pouco estudado e geralmente não existe para ele uma estratégia adequada de tratamento e disposição final dos RSU.

Análise ambiental. Para a análise ambiental foi realizada uma avaliação de ciclo de vida, na Tabela 1 se apresenta o objetivo e escopo do estudo.

Tabela 1. Objetivo e escopo de estudo

Objetivo e Escopo	Descrição
Objetivo	O objetivo é comparar o desempenho energético e ambiental de diferentes alternativas de tratamento e disposição final de RSU considerando diferentes rotas tecnológicas (bioquímica e termoquímica), com e sem coleta seletiva.
Unidade Funcional	1 tonelada de RSU
Fluxo de referência	1 t de RSU ao atravessar os limites dos sistemas estudados e sair na forma de fluxos de massa, energia e emissões ao ambiente.

Fronteiras dos sistemas. Na ACV, a escolha dos limites do sistema tem um efeito relevante sobre os resultados e sua interpretação, no presente estudo foi aplicada uma expansão do sistema (Figura 1) ou seja uma abordagem consequential.

As emissões resultantes das atividades do primeiro plano são denominadas encargos diretos: eles incluem as emissões atmosféricas provenientes da gaseificação, da digestão anaeróbia, e do gás de aterro. O sistema de segundo plano ou de fundo inclui todos os outros processos que interagem com o sistema de primeiro plano, normalmente através de transferência de materiais e de energia (CLIFT et al., 2000). As emissões decorrentes dos processos no sistema de fundo são referidas como emissões indiretas e evitadas: a produção de eletricidade a partir de biogás, o biofertilizante e as matérias recicláveis (CLIFT et al., 2000; BERNSTAD e LA COUR JANSEN, 2012).

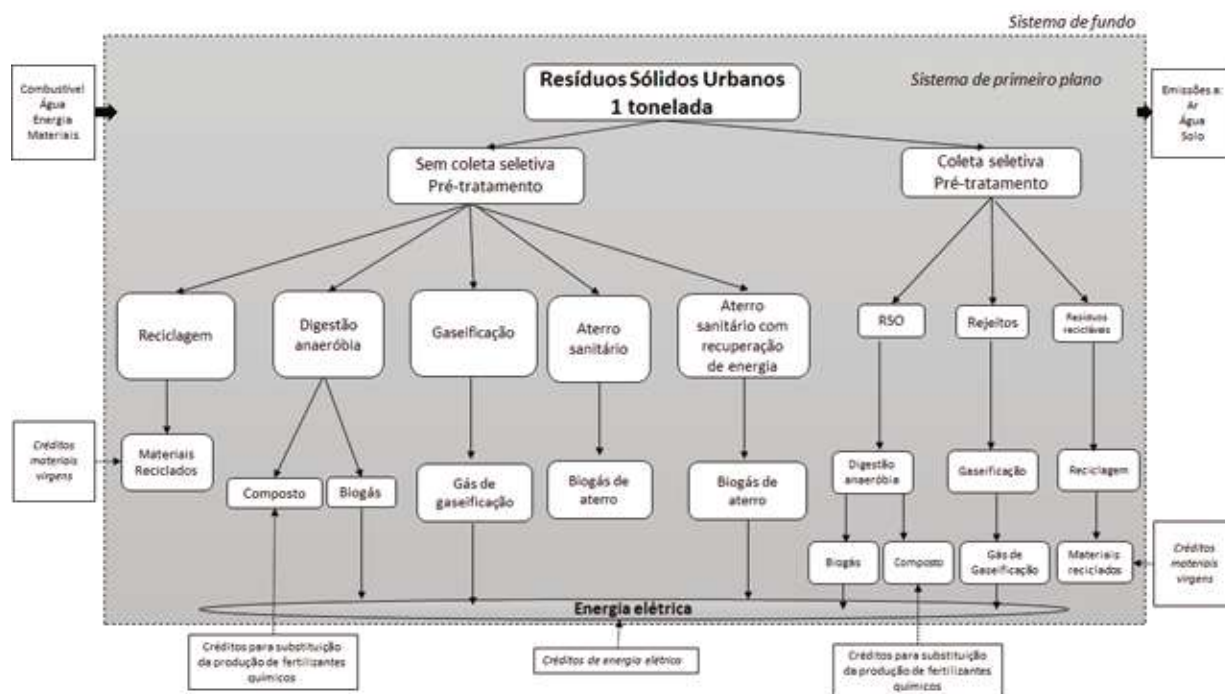


Figura 1. Fronteiras dos sistemas

Definição dos Cenários. Tendo em consideração as diferentes alternativas tecnológicas disponíveis para o tratamento e disposição final de RSU foram definidos seis cenários de tratamento e disposição: Cenário 1 (Cenário referência) – Aterro Sanitário sem recuperação energética e queima do biogás em flare. Cenário 2 - Aterro Sanitário com recuperação energética em MCI. Cenário 3 - Sistema de tratamento de resíduos com biodigestão anaeróbia e recuperação energética em MCI. Cenário 4 – Sistema de tratamento de resíduos com gaseificação e geração de eletricidade em MCI. Cenário 5 – Sistema de tratamento de resíduos com reciclagem. Cenário 6 - Sistema integrado de tratamento de resíduos.

Análise do inventário de ciclo de vida (AICV). Os inventários obtidos a partir de fontes brasileiras e do banco de dados de ECOINVENT são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Fontes dos dados para inventários de ciclo de vida em todos os cenários

	Entradas	Referência Inventários
Cenários 1, 2, 3, 4, 5 e 6	Eletricidade	Banco de dados Ecoinvent (2015)
Cenário 1 e 2	Diesel para operação do maquinário de compactação do solo	Borges (2004)
	Argila	Banco de dados Ecoinvent (2015)
	Areia	Banco de dados Ecoinvent (2015)
	Biogás de aterro sanitário	(LANDGEM, v302)
	Emissões do chorume do aterro sanitário	BASTOS <i>et al.</i> (2003); SOUTO e POVINELLI, (2007) em NAKAMURA, (2012); DIAS (2012); VON SPERLING (2014)
Cenário 1	Emissão de gases durante a queima do biogás em flare	USEPA (2008), NSCA (2002) em BEYLOT <i>et al.</i> (2013)
Cenário 2	Emissões do Motor de Combustão Interna	USEPA (2008), NSCA (2002) em BEYLOT <i>et al.</i> (2013).
Cenário 3	Biogás biodigestor Anaeróbio	Gomez (2010)
	Material digerido	Boldrin <i>et al.</i> (2010)
	Cal Virgem	Banco de dados Ecoinvent (2015)
	Fertilizantes inorgânicos substituíveis por utilização de composto	Adaptado de Boldrin <i>et al.</i> (2010)
	Emissões do tratamento do chorume	Adaptado de Sancartier <i>et al.</i> (2011), adaptado de Nakamura, (2012), adaptado de Schmidt <i>et al.</i> (2001), adaptado de Rodriguez – Garcia (2011), em Levis e Barlaz (2013). Von Sperling (2014) em Gonçalves (2015)
Cenário 4	Gás de Gaseificação	Lozano (2015)
	Carvão Ativado	Banco de dados Ecoinvent (2015)
	Ar	Banco de dados Ecoinvent (2015)
	Cinzas e Escórias	Banco de dados Ecoinvent (2015)
	Emissões do MCI com o gás de gaseificação	(GATECYCLE)
Cenário 5	Papel, Plástico, Vidro e Metal recicláveis	Banco de dados Ecoinvent (2015)

Avaliação de Impacto. Dos métodos de AICV disponíveis no software SimaPro v8, foi escolhido o método CML IA baseline (2000), devido a que a maior parte das categorias de impacto têm um âmbito geográfico global, além disso sua abordagem é orientada para o problema que corresponde na ISO ao ponto intermediário no mecanismo ambiental, onde ainda se podem propor soluções de mitigação as diferentes problemáticas ambientais.

As categorias de impacto intermediárias utilizadas para realizar a avaliação dos impactos ambientais dos cenários analisados são: acidificação, aquecimento global, eutrofização, depleção abiótica e depleção da camada de ozônio. A justificativa para a seleção é tal que representam as principais categorias desses impactos ambientais por parte do setor de tratamento e disposição de RSU.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da ACV são apresentados na Tabela 3, como o total de impactos ambientais ao longo de toda a vida útil dos RSU e na Figura 2, pode-se observar os resultados plotados em um gráfico de radar, no qual é observada a influência de cada cenário nas categorias de impactos.

Tabela 3. Impactos ambientais para tratamento e disposição final de 1 t de RSU obtidos com o método CML IA baseline

Categoria de impacto	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6
Depleção abiótica (kg Sb eq)	1,01E-05	8,32E-06	-2,96E-06	1,62E-05	-2,60E-04	-2,73E-04
Aquecimento global (kg CO ₂ eq)	3,95E+02	3,69E+02	1,14E+02	1,30E+02	-5,23E+02	-5,53E+02
Depleção da camada de ozônio (kg CFC-11 eq)	2,68E-03	2,68E-03	7,62E-04	8,09E-04	1,35E-03	2,61E-05
Acidificação (kg SO ₂ eq)	2,28E-01	2,83E-01	2,51E-01	1,13E-01	-3,91E+00	-2,92E+00
Eutrofização (kg PO ₄ --- eq)	4,13E-02	8,90E-02	2,33E-01	8,32E+00	-2,37E-01	1,01E-02

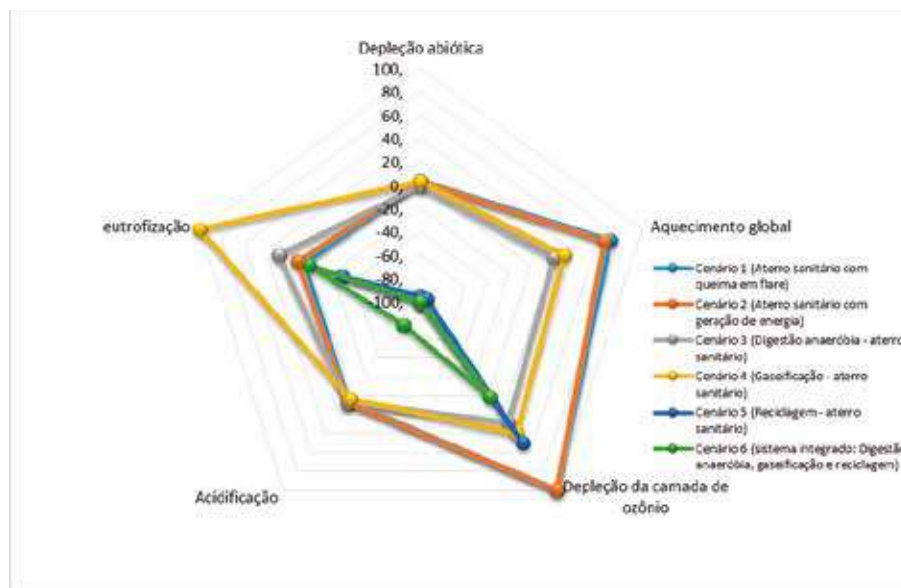


Figura 2. Comparação percentual dos impactos ambientais dos cenários analisados utilizando um gráfico de radar.

Os resultados evidenciam que o Cenário 6, correspondente ao sistema integrado, apresentou os menores impactos e, portanto, os melhores resultados em todas as categorias. Neste cenário há aproveitamento energético, menores impactos ambientais e além disso, geração de outros produtos como são o biofertilizante e materiais recicláveis que podem ser comercializados como matéria prima.

O Cenário 5 (reciclagem), gera os segundos menores impactos ambientais, porém neste cenário somente foram utilizados os resíduos que podem ser recuperáveis, sem ter em consideração os resíduos orgânicos ou rejeitos, que são levados a um aterro sanitário no qual, apresenta maiores impactos ambientais. O maior objetivo de um programa de reciclagem é o componente ambiental por meio da exploração em menor escala dos recursos naturais diante do aproveitamento de materiais recicláveis como matéria-prima de um novo processo de industrialização, além de diminuir o resíduo acumulado e poupar energia. Desta forma, conclui-se que haverá melhor aproveitamento quando são utilizados todos os RSU classificados e submetidos a diferentes tecnologias de tratamento indicadas para cada um deles.

Os maiores impactos para todas as categorias se apresentaram no Cenário 1. Tendo em consideração esta problemática ambiental em vários países europeus estabeleceram-se políticas para erradicar os aterros sanitários e focam seus esforços na implementação da hierarquia de tratamento e disposição do resíduo, portanto, na diminuição de resíduos, na recuperação e na reciclagem dos materiais e da energia nele contido. Os aterros na sua atual concepção geram um fardo incalculável para as futuras gerações e devem ser considerados como última opção para dispor os resíduos.

4 | CONCLUSÕES

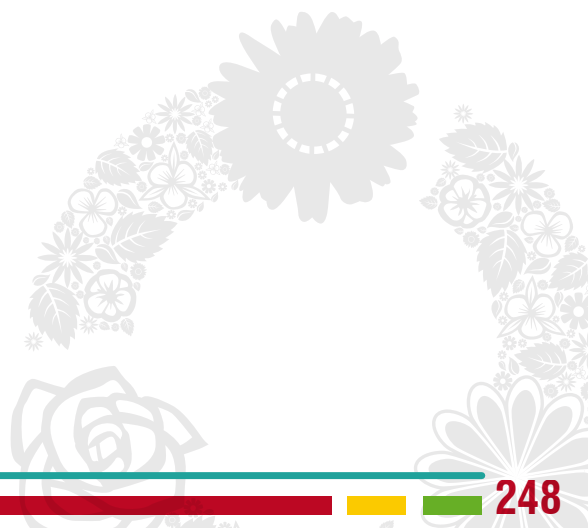
O cenário 6 do sistema integrado, além de apresentar benefícios pela geração de energia, recuperação de materiais recicláveis e biofertilizante que podem ser comercializados, apresenta os menores impactos ambientais para todas as categorias estudadas. Os segundos menores impactos, correspondem ao Cenário 5, com utilização apenas da fração de resíduos que podem ser recuperados, não poderia categorizar-se como a melhor opção, devido a que os outros resíduos não são aproveitados, somente se limita a dispor em um aterro sanitário. O cenário 1 é o modelo mais utilizado para o tratamento e disposição final para os RSU implementados no Brasil é de pior desempenho do ponto de vista ambiental.

As categorias de menores impactos para todos os cenários são a depleção abiótica, seguido da acidificação e a eutrofização, sendo esta última representativa apenas no Cenário 4. No aquecimento global se vê influenciado pelas emissões fugitivas do aterro sanitário nos Cenários 1, 2, 3 e 4, nos cenários 5 e 6 se apresentam valores negativos. A rota indicada para municípios com população entre 100.000 e 300.000 habitantes deve ser composta por: coleta domiciliar de CDR, coleta diferenciada de resíduos recicláveis, orgânicos, unidades de triagem para destinação dos resíduos recicláveis secos e disposição de rejeitos em aterros sanitários.

O sistema integrado onde se tem o uso de diferentes tecnologias para gerar energia com os RSU, tem benefícios adicionais, ao gerar outros subprodutos como biofertilizante na DA e a recuperação de materiais nos sistemas de reciclagem.

Referências

- ANDRADE, R. S.; ALMEIDA NETO, J. A. de; QUEIROZ, R. D. C. S. de. Valorização biotecnológica de soro de leite por fermentação utilizando *Saccharomyces cerevisiae*. Estudos Tecnológicos em Engenharia, v. 11, n. 2, p. 82–91, 2016. Disponível em: <http://www.revistas.unisinos.br/index.php/estudos_tecnologicos/article/view/9193>.
- DERKZEN, M. L.; VAN TEEFFELLEN, A. J. A.; VERBURG, P. H. Green infrastructure for urban climate adaptation: How do residents??? views on climate impacts and green infrastructure shape adaptation preferences? Landscape and Urban Planning, v. 157, n. January, p. 106–130, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.05.027>>.
- DEUTZ, P.; IOPPOLO, G. From Theory to Practice: Enhancing the Potential Policy Impact of Industrial Ecology. Sustainability, v. 7, n. 2, p. 2259–2273, 2015. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2071-1050/7/2/2259/htm>>.
- ISO 14040, 2006. Environmental management—life cycle assessment—principles and framework, 28.
- ISO 14044, 2006. Environmental management—life cycle assessment—requirements and guidelines, 54.
- MARANDUBA, H. L.; ROBRA, S.; NASCIMENTO, I. A.; DA CRUZ, R. S.; RODRIGUES, L. B.; ALMEIDA NETO, J. A. de. Improving the energy balance of microalgae biodiesel: Synergy with an autonomous sugarcane ethanol distillery. Energy, v. 115, n. November, p. 888–895, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.09.061>>.
- MARANDUBA, H. L.; ROBRA, S.; NASCIMENTO, I. A.; DA CRUZ, R. S.; RODRIGUES, L. B.; DE ALMEIDA NETO, J. A. Reducing the life cycle GHG emissions of microalgal biodiesel through integration with ethanol production system. Bioresource Technology, v. 194, p. 21–27, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2015.06.113>>.
- SLAVOV, A. K. Dairy Wastewaters – General Characteristics and Treatment Possibilities – A Review. Food Technology and Biotechnology, v. 55, n. 1, 2017. Disponível em: <http://www.ftb.com.hr/images/InPress/4520-in_press.pdf>.
- SOUZA, L. S.; VELINI, E. D.; MAIMONI-RODELLA, R. C. S.; MARTINS, D. Teores De Macro E Micronutrientes E a Relação C/N De Várias Espécies De Plantas Daninhas. Planta Daninha, v. 17, n. 1, p. 163–167, 1999. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pd/v17n1/a15v17n1.pdf>>.
- TEITER, S.; MANDER, Ü. Emission of N₂O, N₂, CH₄, and CO₂ from constructed wetlands for wastewater treatment and from riparian buffer zones. Ecological Engineering, v. 25, n. 5, p. 528–541, 2005.
- WANG, M.; ZHANG, D. Q.; DONG, J. W.; TAN, S. K. Constructed wetlands for wastewater treatment in cold climate — A review. Journal of Environmental Sciences, fev. 2017. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1001074217303108>>.





LIFE-CYCLE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF ADVANCED ANAEROBIC DIGESTION OF SEWAGE SLUDGE INCLUDING SEQUENTIAL ULTRASOUND AND LOW-TEMPERATURE (55°C) THERMAL PRE-TREATMENT

PhD (c). Patricio Neumann Langdon*, Ing. Javier Cartes Escobar*
PhD. Almudena Hospido Quintana**, PhD. Gladys Vidal Sáez*

* **Universidad de Concepción**, Environmental Sciences Faculty and EULA-Chile Centre, Environmental Engineering and Biotechnology Group. Barrio Universitario s/n, Biobío, Concepción, Chile. Phone:

+56 41 2661033. Fax: +56 41 2207076. E-mail: pneumann@udec.cl, javiercartes@udec.cl, glvidal@udec.cl

** **Universidade de Santiago de Compostela**, Department of Chemical Engineering, Institute of Technology, Group of Environmental Engineering and Bioprocesses. 15782 Santiago de Compostela, Galicia, Spain. Phone:

+34 881816020. Fax: +34 881816702. Email: almudena.hospido@usc.es

ABSTRACT:

Anaerobic digestion (AD) is a widely extended sludge stabilization technology. However, as biological hydrolysis is limited during digestion, the use of pre-treatments has been proposed as an alternative to improve process performance. In order to assess pre-treatment sustainability, it is necessary to evaluate the life-cycle environmental impacts associated to energy consumption and other aspects of its implementation. This work assesses the life cycle impacts of different sludge management scenarios, focusing on the influence of a sequential ultrasound and low-temperature thermal (55°) pre-treatment on AD performance. Scenarios of alkaline stabilization – landfilling were also included for comparison. Impact categories assessed were climate change potential (CCP), acidification potential (AP), abiotic depletion potential (ADP) and eutrophication potential in terrestrial (TEP), marine (MEP) and freshwater ecosystems (FEP). Results show that AD scenarios had lower impacts than alkaline stabilization in all categories. Pre-treatment led to decreased CCP mainly due to replacement of conventional energy sources, but ADP was increased. Environmental performance of the pre-treatment is directly related not only with his influence over energy recovery, but with transport requirements and the nutrient loadings in sludge and supernatant after sludge dewatering. From an environmental point of view, the life cycle performance of the pre-treatment should be accounted previous to its implementation.

Keywords:

Sludge management; anaerobic digestion; pre-treatments; waste valorization.

1 | INTRODUCTION

Sewage sludge management is a growing issue for sewage and wastewater treatment facilities around the world. In Chile, sewage sludge generation during 2014 was over 6.9×10^5 m³ (SISS 2015), with most of it being stabilized using lime and disposed in landfills. However, in recent years there is a growing public and governmental concern related to the long term sustainability of this strategy.

Anaerobic digestion (AD) is an environmentally friendly alternative for sludge stabilization. However, hydrolysis represents a significant limitation for the process due to the low biodegradability and availability of particulate matter (Carlsson et al. 2012). Consequently, sludge AD requires retention times of over 20 d, making its implementation unfeasible for most small-sized WWTPs.

Therefore, the use of pre-treatments has been proposed to improve substrate hydrolysis and increase biogas production. While pre-treatments could lead to significant process performance improvements (Neumann et al. 2016), it is not clear how those influence the environmental burdens associated with sewage sludge management from a life-cycle perspective. This work reports the results of a life cycle assessment (LCA) performed over different sludge management scenarios, including conventional AD and advanced AD using a sequential ultrasound and low temperature (55°C) pre-treatment. Scenarios of alkaline stabilization followed by landfilling were also included for comparison.

2 | METHODOLOGY

Systems boundaries include the in-plants operation of sludge stabilization, energy recovery from biogas and the valorization of digestate as a fertilizer. Figure 1 resumes the four assessed scenarios.

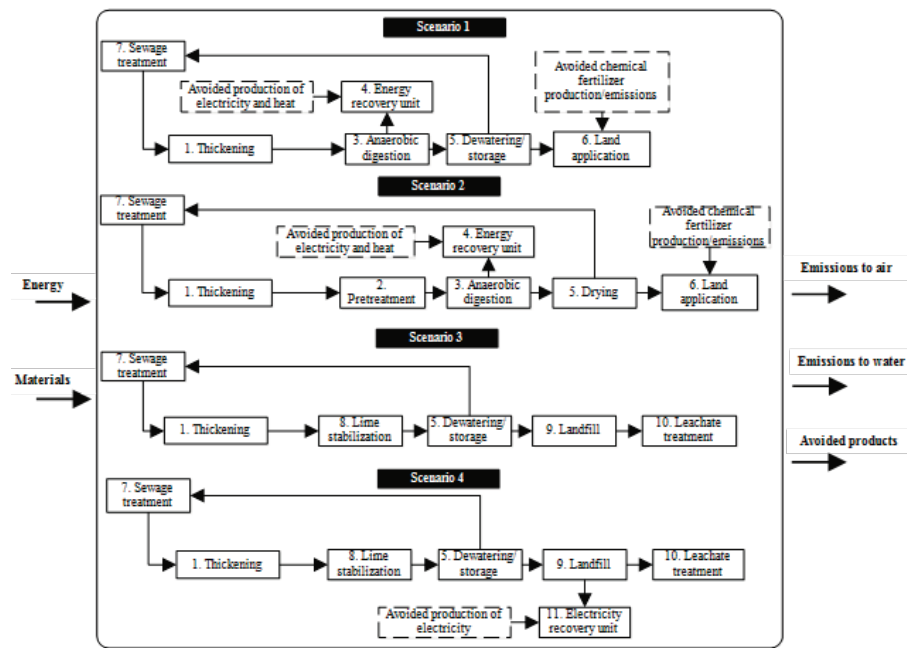


Figure 1. Assessed scenarios and system boundaries. Dashed lines represent avoided products (energy and fertilizer).

Functional unit was established as the treatment of 1 ton of mixed sludge in dry basis (Hospido et al. 2005), with a humidity of 80 – 90%. Annual average data from the Biobío sewage treatment plant (Concepción, Chile, 36° 48' S, 73° 08' W) was used as basis for the inventory. Influence of pre-treatment (Neumann et al. 2017) over DA (biogas production, nutrients and dewaterability) was tested in laboratory in semi-continuous AD reactors of 10 L. The alkalization and landfilling scenarios were assessed based on life-cycle inventories modeling (Doka 2003).

Life cycle impact assessment was performed using the recommended midpoint methods from the International Reference Life Cycle Data System Handbook for impact assessment (ILCD, 2011). Impact categories included were climate change potential (CCP), terrestrial eutrophication potential (TEP), freshwater eutrophication potential (FEP), marine eutrophication potential (MEP), acidification potential (AP), and abiotic depletion potential (ADP).

3| RESULTS AND DISCUSSION

Table 1 resumes the inventory data for all assessed scenarios.



Table 1. Summary of the inventory data for the four assessed scenarios. All quantities (kg, kWh) are referred to the functional unit (FU).

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
Inputs				
Electricity (kWh)	167	234.8	59.2	59.2
Heat (kWh)	637.4	649.1		
Polymer thickening (kg)	6.4	6.4	6.4	6.4
Transport (t-km)	369.4	501.6	333.2	333.2
Polymer drying (kg)	2.7	2.7	2.7	2.7
Lime(kg)			164.7	164.7
Outputs				
Emissions to air				
CH ₄ biogenic (kg)	8.9	10.6	23.7	23.7
CO ₂ biogenic (kg)	597.4	712.6	300.7	300.7
N ₂ (kg)	1.1	1.07	4.8	4.8
H ₂ S (kg)	0.01	0.01	9,0E-05	9,0E-05
NH ₃ (kg)	0.72	0.85	14.0	14.0
N ₂ O (kg)	0.17	0.17	2,7E-03	2,7E-03
NO _x (kg)	0.08	0.10		
Emissions to water				
PO ₄ ²⁻ (kg)	27.2	27.6	28.9	28.9
NO ₃ ⁻ (kg)	264.1	264.5	262.8	262.8
NH ₄ ⁺ (kg)	58.0	58.3	59.9	59.9
NO ₂ (kg)	3.4	3.4	3.6	3.6
N _{part} (kg)	2.6	2.6	2.7	2.7
Avoided products				
Energy				
Electricity (kWh)	704	839		64.9
Heat (kWh)	750	894		
Fertilizers				
N (as ammonium sulphate) (kg)	11.5	11.0		
P ₂ O ₅ (as diammonium phosphate) (kg)	1.5	1.4		

Due to pre-treatment, energy consumption of AD increased. However, it was compensated by the higher biogas production and led to increases of 13% and 189% in electricity and heat recoveries, respectively. Landfill scenarios resulted in lower energy consumption than AD scenarios, but even when production of electricity was considered (Scenario 4), recovered energy was lower than AD.

Figure 2 shows the comparison between scenarios in terms of the characterization results relative to the highest overall impact/benefit.

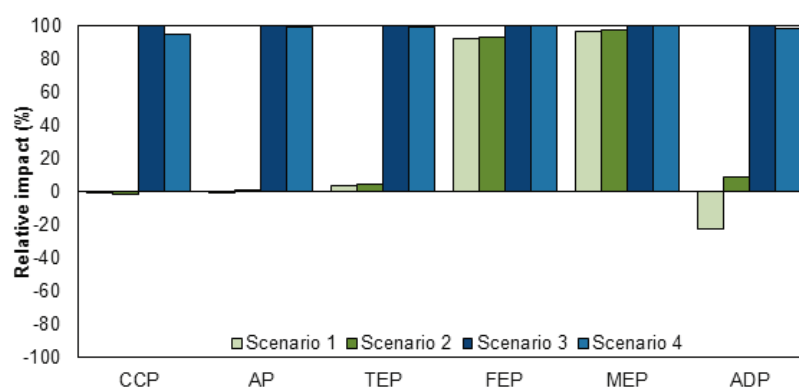


Figure 2 Comparative results of the four scenarios under study.

AD scenarios showed lower potential impacts than landfill scenarios in all assessed categories. Moreover, Scenario 1 presented net benefits over ADP due to the replacement of mineral fertilizers and fossil fuels, while pre-treatment decreased CCP. However, due to the lower replacement of fertilizers and higher requirements for transport in Scenario 2, ADP increased compared to Scenario 1.

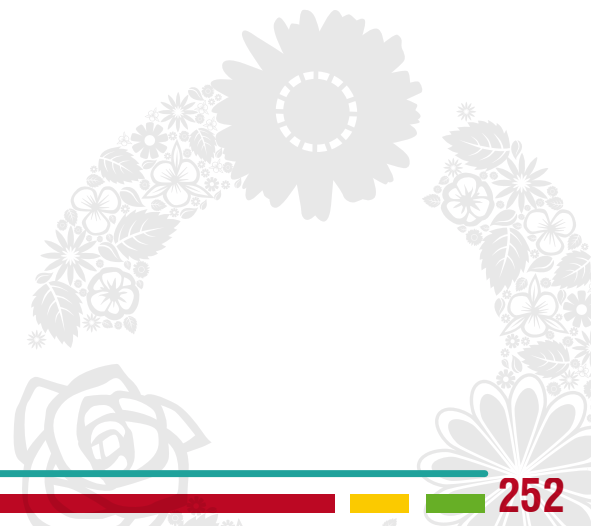
On the other hand, land application of sludge was a significant contributor to the AP, TEP and ADP categories in the AD scenarios. Pretreatment led to increased transport requirements and emissions of CH₄, NH₃, NO₃⁻ and PO₄³⁻, and the variation on related impact categories such as CCP, AP, TEP, FEP and MEP was mostly related to sludge agricultural land application.

Acknowledgements

This work was supported by Grant CONICYT PAI/2014 No.781413004, CONICYT-PCHA/Doctorado Nacional/2013-2113005 and Grant CONICYT/FONDAP 15130015. The authors thank ESSBIO S.A. for their continuous support during this work.

References

- Carlsson M, Lagerkvist A, Morgan-Sagastume F (2012) The effects of substrate pre-treatment on anaerobic digestion systems: a review. *Waste Manag* 32:1634–50. doi: 10.1016/j.wasman.2012.04.016
- Doka G (2003) Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. Ecoinvent report No. 13.
- Hospido A, Moreira MT, Martín M, et al (2005) Environmental Evaluation of Different Treatment Processes for Sludge from Urban Wastewater Treatments : Anaerobic Digestion versus Thermal Processes. *Int J Life - Cycle Assess* 10:336–345.
- Neumann P, González Z, Vidal G (2017) Sequential ultrasound and low-temperature thermal pretreatment: process optimization and influence on sewage sludge solubilization, enzyme activity and anaerobic digestion. *Bioresour Technol* 234:178–187. doi: 10.1016/j.biortech.2017.03.029
- Neumann P, Pesante S, Venegas M, Vidal G (2016) Developments in pre-treatment methods to improve anaerobic digestion of sewage sludge. *Rev Environ Sci Bio/Technology* 15:173–211. doi: 10.1007/s11157-016-9396-8
- SISS (2015) Informe de Gestión del Sector Sanitario - 2014.





NUEVO MIEMBRO DE LA FAMILIA ISO: PRINCIPIOS DE ORIENTACIÓN PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE METALES SECUNDARIOS

NEW ISO FAMILY MEMBER: ISO GUIDANCE PRINCIPLES FOR THE SUSTAINABLE MANAGEMENT OF SECONDARY METALS

Sonia Valdivia *, **Mathias Schlupe ****, **Rolf Widmer*****, **Rolf Widmer******

* World Resources Forum & Leuphana Universität Lueneburg, Lerchenfeldstr. 2, CH 9014 Saint Gallen, Switzerland, Tel +41.76.562.986. E-mail: sonia.valdivia@wrforum.org

** World Resources Forum, Lerchenfeldstr. 2, CH 9014 Saint Gallen, Switzerland, Tel +41.76.562.986.

E-mail: mathias.schlupe@wrforum.org

*** Empa, Lerchenfeldstr. 2, CH 9014 Saint Gallen, Switzerland. Tel. +41 58 765 7863. E-mail: rolf.widmer@empa.ch

**** SNV, Bürglistr. 29, CH-8400 Winterthur, Switzerland. Tel +41 52 224 54 54. E-mail: rolf.widmer@snv.ch

ABSTRACT:

The increasing consumption of high-tech products leads to a growing demand for metals and production of waste that contains metals. Fulfilling the increased demand for metals through primary extraction poses numerous environmental and social risks and challenges. From the life cycle perspective, metal recycling becomes the natural response to these challenges. In developing and emerging economies recycling is mainly done by informal recyclers (IR) that recover more than 90% of secondary metal (SM) mostly under uncontrolled conditions (e.g. open burning, use of hazardous substances and lack of protective equipment) which create serious impacts on human health and the environment. On the other end of the metal recycling chain, a growing number of formal recyclers and manufacturers want to tap the potential of increasing metal recovery by IR, both in volume and in quality, which requires guidance or authoritative supporting frameworks, thus promoting SM to achieve their full potential. The ISO Guidance Principles for the Sustainable Management of SM launched in 2017 fill in this gap and recommend sustainability (17 objectives) and traceability requirements. Main users are Economic Operators (EO) willing to improve their recycling practices and demonstrate that they are doing so. The MVC include subsistence activities involved in recycling which shall be supported during the implementation process by formal EO and others outside the MVC.

This paper introduces the ISO Guidance Principles, three Pilot Testing in Latin America, Africa and Asia and recommendations for implementation.

Keywords:

sustainable recycling; traceability, secondary metals: informal sector; Pilot Testing; Latin America; Africa; Asia

ABSTRACT:

El consumo creciente de productos de alta tecnología lleva a crecientes demanda de metales y producción de residuos con dichos materiales. La extracción de minerales para satisfacer dicha demanda plantea numerosos riesgos y desafíos ambientales y sociales. Desde la perspectiva del ciclo de vida, el reciclaje de metales se convierte en la respuesta natural a estos desafíos. En las economías en desarrollo y emergentes, esto se realiza principalmente por recicladores informales (RI) que recuperan más del 90% de metal secundario (MS) usualmente bajo condiciones no controladas (por ejemplo, quema a cielo abierto, uso de sustancias peligrosas y falta de equipo de protección) impactando seriamente en la salud humana y el ambiente. Por otro lado, cada vez más recicladores y fabricantes formales desean aprovechar el potencial del metal recuperado por los RI, tanto en volumen como en calidad, lo que requiere de guías o marcos de apoyo oficiales.

Los 'Principios de Orientación ISO para la Gestión Sostenible de MS' publicados en 2017 llenan este vacío y recomiendan requisitos de sostenibilidad (17 objetivos) y trazabilidad. Los principales usuarios son los Operadores Económicos(OE) involucrados en cadenas de valor de metales (CVM) comprometidos a mejorar sus prácticas de reciclaje y demostrar que así lo están haciendo. Las CVM incluyen actividades de subsistencia involucradas en el reciclaje que deberán ser apoyadas durante la implementación por EO formales y otros fuera de las CVM.

Este resumen presenta los Principios de Orientación ISO, tres Pruebas Piloto en 2017 en América Latina, África y Asia, así como recomendaciones para su implementación.

Palabras clave:

reciclaje sostenible; trazabilidad; metales secundarios; sector informal; pruebas piloto; Latino América; África; Asia.