

Mitigación al cambio climático y recicladores de base, caso de estudio: Huella de carbono del reciclaje de aluminio en Ecuador



Climate Change Mitigation and Grassroots Recyclers, Case Study: Carbon Footprint of Aluminium Recycling in Ecuador

Baque, Sofía; Casagualpa, Anderson; Gallardo, Lorena

Sofía Baque

daywilly.baque@epn.edu.ec

Escuela Politécnica Nacional, Ecuador

Anderson Casagualpa

casagualpa@epn.edu.ec

Escuela Politécnica Nacional, Ecuador

Lorena Gallardo

lorena@reciveci.ec

Universidad San Francisco, Ecuador

Ecuadorian Science Journal

GDEON, Ecuador

ISSN-e: 2602-8077

Periodicidad: Semestral

vol. 5, núm. Esp.3, 2021

esj@gdeon.org

Recepción: 30 Agosto 2020

Aprobación: 04 Octubre 2020

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/606/6062738009/index.html>

DOI: <https://doi.org/10.46480/esj.5.3.146>

Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra sus sitios web personales o en depósitos institucionales, después de su publicación en esta revista, siempre y cuando proporcionen información bibliográfica que acredite su publicación en esta revista. Licencia de Creative Commons Las obras están bajo una <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Como citar: Baque, S., Casagualpa, A., & Gallardo, L. (2021). Mitigación al cambio climático y recicladores de base, caso de estudio: Huella de carbono del reciclaje de aluminio en Ecuador. *Ecuadorian Science Journal*, 5(3), 84-98. DOI: <https://doi.org/10.46480/esj.5.3.146>

Resumen: En el presente estudio, se utilizó la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para evaluar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del aluminio en Ecuador, analizando el potencial de reducción de emisiones de GEI al reciclar este material e incorporarlo nuevamente a la industria. Para ello, se consideraron dos procesos productivos del aluminio con materias primas diferentes: materia prima virgen y materia prima reciclada. Además, se estimaron las emisiones de GEI evitadas gracias a la recuperación de aluminio por parte de recicladores de base a través de la herramienta tecnológica ReciApp de ReciVeci, donde las personas entregan su material a estos actores de la cadena de residuos y a cambio reciben puntos canjeables por marcas participantes dentro del misma aplicación. También, se hizo una breve descripción de lo que está sucediendo con el aluminio en Ecuador y cómo el reciclaje se está convirtiendo en un elemento fundamental de la mitigación al cambio climático. Dentro de los resultados obtenidos, se evidencia que el potencial de reducción de emisiones de GEI es de aproximadamente 70%, lo cual concuerda con varios estudios previos.

Palabras clave: Aluminio, Huella de Carbono, Reciclaje Inclusivo.

Abstract: In this study, the Life Cycle Analysis (LCA) tool was used to evaluate the Greenhouse Gas Emissions (GHG) of aluminum in Ecuador, analyzing the potential for reducing GHG emissions by recycling this material and incorporating it back into the industry. For this purpose, two aluminum production processes with different raw materials were considered: virgin raw material and recycled raw material. In addition, GHG emissions avoided were estimated thanks to the recovery of aluminum by grassroots recyclers through ReciVeci's ReciApp technological tool, where people deliver their material to these actors in the waste chain and in exchange receive points redeemable for participating brands within the same application. There was also a brief description of what is happening with aluminum in Ecuador and how recycling is becoming a fundamental element in the mitigation of climate change. Among the results obtained, it is evident that the

potential for reducing GHG emissions is approximately 70%, which is consistent with several previous studies.

Keywords: Aluminium, Carbon Footprint, Inclusive Recycling.

INTRODUCCIÓN

El aluminio es uno de los metales más abundantes de la corteza terrestre. En la industria, se caracteriza por su resistencia a la corrosión, su baja densidad y su larga vida útil (Esparza, Garay, & Martínez, 2017). Este material puede ser de dos tipos, el primero, llamado aluminio primario, proviene de materia prima virgen, en este caso, el mineral utilizado es la bauxita. El segundo se conoce como aluminio secundario, que se fabrica a partir de materia prima reciclada (Miteco, 2020). Según datos nacionales, Ecuador no es productor de aluminio primario, pues importa el 70% de este material, y solo fabrica el 30% de aluminio secundario en el país (Quimbita, 2016). Cabe mencionar que, dentro de la producción de aluminio secundario también se utiliza aluminio primario, con el fin de ajustar su composición y calidad (Paraskevas, D., Ingarao, G., Deng, Y., Dyflou, J.R., Pontikes, Y., Blanpain, B., 2019).

Lamentablemente en Ecuador, gran parte del aluminio importado es tratado bajo una economía lineal, que se basa en los residuos después de su uso (Falappa & Lamy, 2019). No existe información oficial sobre la cantidad de chatarra de aluminio que se recupera, pero algunas de las grandes empresas recicladoras de chatarra, como Recynter, procesan alrededor de 120 000 toneladas de chatarra anualmente (Coello, 2016).

Cabe destacar que, el reciclaje y la fabricación de aluminio secundario aporta muchos beneficios, entre ellos el ahorro de combustibles fósiles, materias primas y hasta el 95% de la energía eléctrica utilizada. Además, hay un ahorro significativo en las emisiones de GEI (Bermeo, Sánchez, & López, 2018).

Debido a estos beneficios, el reciclaje está incluido en el escenario condicional de las Contribuciones Nacionales Determinadas (NDC) en Ecuador. Una de las líneas de acción con referencia a la mitigación del cambio climático es promover la captura activa del CO₂ generado por los residuos sólidos (Olac, 2019). Cabe mencionar que, las NDCs son implementadas por los países para cumplir con el Acuerdo de París, el cual requiere que cada miembro prepare, comunique y mantenga sus NDCs para reducir las emisiones de GEI y adaptarse a los efectos del cambio climático (República del Ecuador, 2019).

Actualmente, existen varias metodologías que ayudan a conocer si hay un ahorro real de emisiones de GEI, una de ellas es la huella de carbono. De acuerdo con la bibliografía, la huella de carbono es la ciencia que contabiliza la cantidad de CO₂-eq que emite una unidad de producto en su vida útil (Dalir, F., Motlagh, M.S., Ashrafi, K., 2017). A través de esta herramienta, se ha llegado a varias conclusiones sobre las emisiones de GEI y el reciclaje. Por ejemplo, la literatura indica que el reciclaje de vidrio puede ahorrar entre el 20% y el 50% de las emisiones de GEI (Pascual, 2016). De esta manera, la huella de carbono se ha convertido en una herramienta comparativa muy útil para conocer los impactos de un producto a lo largo de su vida útil.

Cabe mencionar que, en Ecuador, se realiza poco reciclaje. Según la Iniciativa Regional para el Reciclaje Inclusivo (IRR), Ecuador genera 4,1 millones de toneladas de residuos sólidos al año, de los cuales el 25% son residuos potencialmente reciclables; sin embargo, sólo se recupera una cuarta parte de este porcentaje. Y de esta cantidad, el 50% del material reciclable es recuperado por los recicladores de base (Iniciativa Regional para el Reciclaje Inclusivo, 2016).

El IRR también indica que, en Ecuador hay aproximadamente 20 000 personas dedicadas al reciclaje informal, de las cuales sólo 1 500 pertenecen a una asociación formal (Iniciativa Regional para el Reciclaje Inclusivo, 2016). La mayoría de los recicladores de base tienen ingresos inferiores al salario mínimo vital y el 90% no tiene seguro médico. Muchas personas no son conscientes de su trabajo dentro de la economía circular. Sin embargo, existen varias iniciativas ciudadanas en Ecuador que incluyen a estos actores, una de ellas es ReciVeci, la cual, es una start-up de economía circular con inclusión social (ReciVeci, 2019). Cuenta

con una aplicación móvil llamada ReciApp, que conecta a los ciudadanos con los recicladores de base para reciclar de forma inclusiva, a través del mapeo colaborativo (ImpaQto, 2018).

El objetivo de este estudio es determinar el potencial de ahorro de emisiones de GEI en la producción de aluminio, lo que ayudará a la toma de decisiones sobre el reciclaje de este producto. Para ello, se utilizará la huella de carbono como herramienta de análisis comparativo. Asimismo, este ahorro o potencial de reducción se asociará a los datos de recuperación de aluminio a través de la ReciApp, demostrando así la contribución en términos de emisiones de GEI realizada por los recicladores de base.

MATERIALES Y MÉTODOS

En esta sección, se describe el cálculo de la huella de carbono de la industria del aluminio en Ecuador bajo una perspectiva de análisis de ciclo de vida. La metodología utilizada responde a los pasos del análisis de ciclo de vida de la Norma ISO 14040, que menciona 3 aspectos importantes: la definición del objetivo y alcance del estudio, la fase de análisis del inventario y el análisis de impacto (Aristizábal Alzate, C.E., González Manosalva, J.L., Gutiérrez Cano, J.C., 2020).

Objetivo y Alcance de estudio

En este estudio, el potencial de reducción de las emisiones de GEI de la fabricación de perfiles de aluminio se obtuvo comparando dos fuentes de materia prima diferentes. La primera, con materia prima virgen, y la segunda, con materia prima reciclada. La unidad funcional para este estudio es 1 kg de perfil de aluminio.

Etapas de la fabricación de perfiles de aluminio con materia prima virgen: de acuerdo a La Asociación de Aluminio (The Aluminum Association, 2013), las etapas en la fabricación de aluminio con materia prima virgen son: extracción del mineral de bauxita, transformación de la bauxita en óxido de aluminio o alúmina, fabricación del lingote de aluminio, transporte del lingote y fabricación del perfil de aluminio. A lo largo de la línea de producción de perfiles de aluminio, hay un consumo de energía, que proviene de combustibles fósiles o de la electricidad. El consumo de estos recursos genera emisiones de GEI que se obtienen con el uso de factores de emisión (The Aluminum Association, 2013). (Véase la Fig. 1).

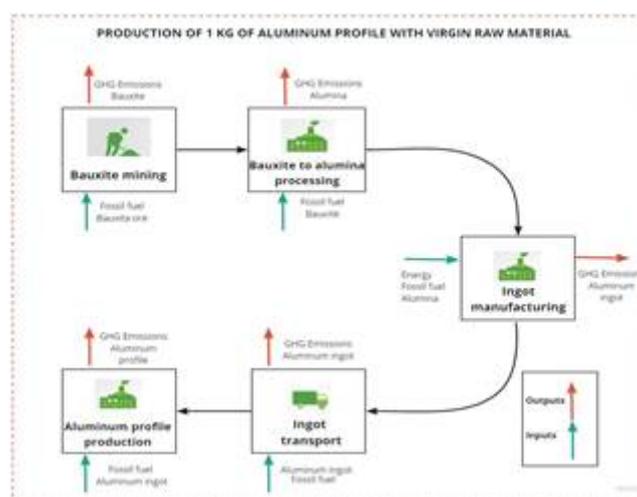


FIGURA 1
Proceso de la producción de aluminio con materia prima virgen.
Baque, S., Casagualpa, A., Gallardo, L. (2021)

Etapas de la fabricación de perfiles de aluminio con materia prima reciclada: En el caso de la fabricación de perfiles de aluminio con materia prima reciclada, la literatura indica las siguientes etapas de producción: transporte de chatarra, procesamiento de chatarra de aluminio, fabricación de lingotes de aluminio y fabricación de perfiles de aluminio. A lo largo del proceso, hay un consumo de energía que proviene de combustibles fósiles y electricidad, lo que provoca emisiones de GEI durante la ejecución de cada etapa (The Aluminum Association, 2013). Cabe mencionar que no se incluyeron las etapas correspondientes al consumo y generación de residuos, la recolección del material por parte de los recicladores de base y el transporte al centro de acopio. Esto se debe a que existe suficiente bibliografía que respalda lo que sucede en estos procesos. (Ver Fig. 2).

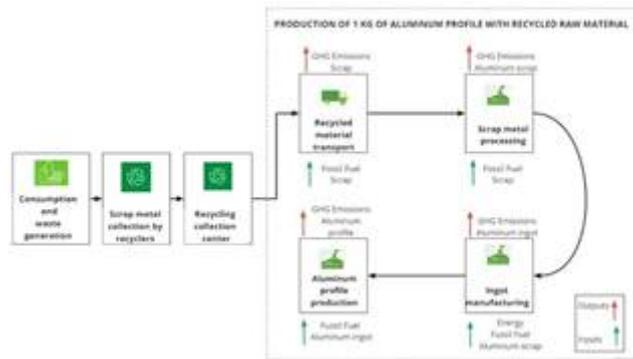


FIGURA 2.
 Proceso de la producción de aluminio con materia prima reciclada.
 Baque, S., Casagualpa, A., Gallardo, L. (2021)

Análisis de Inventario

Los datos para calcular la huella de carbono del aluminio se obtuvieron a partir de estudios comparativos de la producción de aluminio, documentos de análisis de ciclo de vida y estudios de caso sobre la industria del aluminio en Ecuador.

Recopilación de datos del aluminio primario: a continuación, se muestran los datos utilizados para calcular la huella de carbono de 1 kg de perfil de aluminio con materia prima virgen. Los datos pueden verse en la tabla 1.

TABLA 1.
Recopilación de datos de 1 kg de perfil de aluminio con materia prima virgen

ETAPA		Valor	Unidad	Fuente
Minería de bauxita		0,008	Kg de CO2-eq	(The Aluminum Association, 2013)
Transformación de la bauxita en alúmina		0,485	Kg de CO2-eq	(The Aluminum Association, 2013)
Fabricación de lingote de aluminio	Consumo de energía	15,11	Kwh/Kg de perfil de aluminio	(The Aluminum Association, 2013)
	Factor de emisión de energía eléctrica	0,127	Kg de CO2-eq/Kwh	(Ramirez , 2019)
	Consumo de combustible	0,018	Kg de combustible	(The Aluminum Association, 2013)
	Factor de emisión del diésel	3,04	Kg CO2-eq/Kg de combustible	(Comisión corporativa de determinación de Factores de Emisión de Gases de efecto invernadero -CTFE, 2019)
Transporte de lingotes de aluminio desde Estados Unidos hasta Ecuador	Factor de emisión de buque portacontenedor de 10 000 toneladas	0,000012	Kg de CO2-eq/Kg de perfil de aluminio/Km recorrido	(Departament for Businnes, Energy & Industrial Strategy, 2021)
	Distancia recorrida	4 681	Km	Google maps
Fabricación de perfil de aluminio		0,639	Kg de CO2-eq	Valor asumido

Baque, S., Casagualpa, A., Gallardo, L. (2021)

Para obtener las emisiones de GEI procedentes de la extracción de bauxita y su transformación en alúmina, el valor del consumo energético se obtuvo del estudio *The Environmental Footprint of SemiFinished Aluminum Products in North America* de la Aluminum Association. Además, se consideró el factor de emisión de diésel obtenido de los Factores de Emisión de CO2 del Sistema Interconectado de Ecuador.

En el caso de la fabricación de lingotes, se consideraron las emisiones de GEI por el uso de combustibles y el consumo de energía, ambos datos obtenidos de *The Environmental Footprint of SemiFinished Aluminum Products in North America* de la Aluminum Association. Para el consumo de energía, se tomó en cuenta el mix energético de Ecuador de 2018.

Dentro del transporte de aluminio, se consideró el factor de emisión de un buque portacontenedores de 10 000 toneladas de capacidad obtenido de *UK Government GHG Conversion Factors for Company*

Reporting. Adicionalmente, se tomó en cuenta la distancia de transporte desde Estados Unidos hasta Ecuador.

Finalmente, los datos sobre la fabricación de perfiles de aluminio es un dato estimado a partir de valores previos de la fabricación de lingote de aluminio, esto se debe a que, en Ecuador, no existe información con referencia a la perflería de aluminio.

Recopilación de datos del aluminio secundario: a continuación, se muestran los datos utilizados para calcular la huella de carbono de 1 kg de perfil de aluminio con materia prima reciclada. Los datos pueden verse en la tabla 2.

TABLA 2.
Recopilación de datos de 1 kg de perfil de aluminio con materia prima virgen

ETAPA		Valor	Unidad	Fuente
Transporte de chatarra de aluminio de Quito a Guayaquil	Consumo de combustible de camión de 2,8 toneladas	0,006	Kg de combustible	(Ministerio de Fomento, 2019).
	Factor de emisión del diésel	3,04	Kg CO2eq/Kg de combustible	(Comisión corporativa de determinación de Factores de Emisión de Gases de efecto invernadero -CTFE, 2019)
Procesamiento de la chatarra de aluminio		0,044	Kg de CO2-eq	(The Aluminum Association, 2013).
Fabricación de lingote de aluminio	Consumo de energía	0,11	Kwh/Kg de perfil de aluminio	(The Aluminum Association, 2013)
	Factor de emisión de energía eléctrica	0,127	Kg de CO2eq/ Kwh	(Ramirez , 2019)
	Consumo de combustible	0,092	Kg de combustible	(The Aluminum Association, 2013)
	Factor de emisión del diésel	3,04	Kg CO2eq/Kg de combustible	(Comisión corporativa de determinación de Factores de Emisión de Gases de efecto invernadero -CTFE, 2019)
Fabricación de perfil de aluminio		0,639	Kg de CO2-eq	Valor estimado

Baque, S., Casagualpa, A., Gallardo, L. (2021)

En el caso de la primera etapa correspondiente al transporte, se obtuvieron datos de consumo de combustible para un camión con capacidad de 2,8 toneladas. Además, se consideró la distancia de transporte del material recuperado desde Quito hasta Guayaquil. Las emisiones de GEI derivadas del procesamiento de la chatarra tuvieron en cuenta el consumo de combustible y el factor de emisión del diésel. Los valores se obtuvieron de The Environmental Footprint of SemiFinished Aluminum Products in North America de la Aluminum Association y de Factores de Emisión de CO2 del Sistema Interconectado de Ecuador, respectivamente. En el caso de las emisiones de GEI en la fabricación de lingotes con materia prima reciclada, se consideró la cantidad de combustibles necesarios y el consumo de electricidad, ambos con sus factores de emisión. Los valores se tomaron del estudio The Environmental Footprint of SemiFinished Aluminum Products in North America de la Aluminum Association.

Finalmente, en la fabricación del perfil de aluminio, se asumió el mismo valor de emisiones que en la fabricación del perfil de aluminio con materia prima virgen, ya que no existe bibliografía local que avale las emisiones de GEI del perfil de aluminio con este tipo de materia prima.

Análisis de Impacto

Para demostrar si el reciclaje del aluminio tiene un impacto significativo en las emisiones de GEI, se compararon las emisiones de GEI asociadas a la producción de perfiles de aluminio con materia prima virgen (GEIMPV) y las emisiones de GEI en la producción de perfiles de aluminio con materia prima reciclada (GEIMPR).

En ambos procesos, se sumaron las emisiones de GEI de todas las etapas; en el caso de la producción de perfiles de aluminio con materia prima virgen, se utilizó la ecuación (1) descrita a continuación.

$$\sum_{n=1}^5 (GEI_{MPV}) \tag{1}$$

Donde:

$$\sum_{n=1}^5 (GEI_{MPV}) \tag{1.1}$$

Suma de las emisiones de GEI en la producción de perfiles de aluminio con materia prima virgen.
 n. Número de etapas.

En el caso de las emisiones de GEI en la producción de perfiles de aluminio con materias primas recicladas, se utilizó la ecuación (2).

$$\sum_{n=1}^4 (GEI_{MPR}) \tag{2}$$

Donde:

$$\sum_{n=1}^4 (GEI_{MPR})$$

[2.1]

Suma de las emisiones de GEI en la producción de perfiles de aluminio con materia prima reciclada.

n. Número de etapas.

La diferencia de emisiones de GEI del perfil de aluminio se calculó mediante la ecuación (3).

$$\sum (GEI_{MPV})_n - \sum (GEI_{MPR})_n \quad [3]$$

Con la diferencia de emisiones de GEI de los 2 procesos para la obtención del perfil de aluminio, se calculó el potencial o porcentaje de reducción de emisiones de GEI, con el uso de la ecuación (4).

$$\frac{\sum (GEI_{MPV})_n - \sum (GEI_{MPR})_n}{\sum (GEI_{MPV})_n} \times 100 \quad [4]$$

En el resultado, cabe destacar que, si el porcentaje de reducción de las emisiones de GEI es mayor que cero, significa que el reciclaje de aluminio tiene un impacto positivo, ya que indica que las emisiones de GEI en la producción de aluminio con materia prima reciclada son menores. Sin embargo, si el valor obtenido es negativo, significa que las emisiones de GEI en la producción de aluminio con materia prima reciclada son mayores.

Reciclaje inclusivo y potencial de reducción de emisiones de GEI del aluminio

El objetivo de esta sección es conocer el potencial de reducción de emisiones de GEI en manos de los recicladores de base a través de la herramienta tecnológica ReciApp.

ReciApp tiene una funcionalidad en la que los usuarios entregan su material reciclable a los recicladores de base. Para validar el registro en la aplicación, toman una foto de la entrega, registran el número de bolsas con su respectivo tamaño y añaden la cantidad de cada material que contiene la entrega, como se muestra a continuación (ver Fig. 3). Una vez registrada la entrega, el sistema otorga puntos que pueden ser canjeados por premios dentro de la misma aplicación.



FIGURA 5.
Sección de entrega dentro de aplicación ReciclaApp
Baque, S., Casagualpa, A., Gallardo, L. (2021)

Para estimar la cantidad de aluminio recuperado por los recicladores de base, se tomaron los datos de las entregas que se han realizado a través de la aplicación móvil ReciclaApp entre el periodo de diciembre de 2018 y mayo de 2021.

Para ello, se calculó empíricamente el volumen de bolsas grandes y pequeñas con los datos proporcionados en la aplicación ReciclaApp. En la tabla 3 se muestran los valores.

TABLA 3
 Estimación del volumen de residuos reciclables entregados por los recicladores de base a través de la ReciApp desde diciembre 2020 hasta mayo 2021

Dato	Valor	Fuente
Volumen de funda grande (m ³)	0,04	Dato empírico
Volumen de funda pequeña (m ³)	0,01	Dato empírico
Número de fundas grandes recibidas en el periodo estudiado	9 780	Base de datos de la ReciApp
Número de fundas pequeñas recibidas en el periodo estudiado	7 580	Base de datos de la ReciApp
Volumen total de fundas grandes (m ³)	303,2	Valor calculado
Volumen total de fundas pequeñas (m ³)	97,8	Valor calculado

Baque, S., Casagualpa, A., Gallardo, L. (2021)

La tabla 3 muestra el volumen estimado de fundas entregadas. Una vez obtenido este volumen, se utilizó la fracción media de metal entregada a través de ReciApp, que es del 6%. A partir de esta fracción se estimó el porcentaje correspondiente al aluminio, el valor obtenido fue del 36%, que se calculó con los datos del estudio de Patiño y Serrano sobre el aluminio reciclado en Cuenca y los datos del IRR.

También se utilizó la densidad aparente de los residuos de aluminio, cuyo valor se tomó de los datos del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico del Gobierno de España.

Con esta recopilación bibliográfica, los datos proporcionados por ReciApp se transformaron en una unidad de peso (kilogramos). Una vez obtenida la cantidad de aluminio recuperado a través de la aplicación, se estimaron las emisiones de GEI evitadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esta sección muestra los resultados obtenidos a través del estudio.

Huella de carbono y potencial de reducción de emisiones de GEI del aluminio

tabla

La tabla 4 muestra la comparación de las emisiones de GEI resultantes de la producción de perfiles de aluminio con materias primas vírgenes y materias primas recicladas.

TABLA 4.
Emisiones de GEI evitadas

Material	Unidad funcional	Etapas	Emisiones de GEI por etapa (Kg de CO ₂ -eq)	Emisiones de GEI totales (Kg de CO ₂ -eq)
Aluminio con materia prima virgen	1 Kg de perfil de aluminio	Extracción de bauxita	0,008	3,158
		Transformación de bauxita en alúmina	0,485	
		Fabricación de lingote	1,966	
		Transporte de lingote	0,060	
		Fabricación de perfil de aluminio	0,639	
Aluminio con materia prima reciclada	1 Kg de perfil de aluminio	Transporte de chatarra de aluminio	0,016	0,954
		Procesamiento de chatarra	0,045	
		Fabricación de lingote	0,254	
		Fabricación de perfil de aluminio	0,639	

Baque, S., Casagualpa, A., Gallardo, L. (2021)

Anteriormente, se mostró los resultados de la huella de carbono del perfil de aluminio con materia prima virgen y del perfil de aluminio con materia prima reciclada. La diferencia de emisiones de GEI es de 2,204 Kg de CO₂-eq, este valor equivale a una reducción del 69,7% de las emisiones de GEI. Con los resultados obtenidos, es evidente que hay un ahorro significativo de emisiones de GEI con el reciclaje de aluminio.

El reciclaje de aluminio, al igual que el reciclaje de otros materiales recuperables, trae muchos beneficios al medio ambiente. Es así el caso del vidrio, reciclar este material, ahorra aproximadamente 53% de las emisiones de GEI. Además, ahorra el 38% de la energía necesaria en la fundición de materias primas vírgenes para la fabricación de envases de vidrio (Guerrero, J.G., Reséndiz, J.R., Reséndiz, H.R., Álvarez-Alvarado, J.M., Abreo, O.R., 2021).

Sin embargo, se debe tomar en cuenta que, al existir un enfoque limitado sobre los materiales específicos que se pueden reciclar, las actividades futuras del reciclaje y sus tecnologías se ven amenazadas por la falta de desarrollo y cooperación de las industrias (Ohno, H., Shigetomi, Y., Chapman, A., Fukushima, Y., 2021)

Emisiones de GEI del aluminio evitadas por los recicladores de base a través de la ReciApp

En esta sección, se muestra la estimación de emisiones de GEI reducidas por el reciclaje inclusive a través de la ReciApp. Puede verse la tabla 5.

TABLA 5.

Estimación de la cantidad de aluminio en kilogramos recuperados por los recicladores a través de la ReciApp en el periodo comprendido entre diciembre-2018 y mayo-2021.

Dato	Valor	Fuente
Volumen de metales y no metales registrado en la ReciApp (m ³)	24,06	Valor calculado
Fracción de residuos de aluminio recuperados a través de la ReciApp	36%	(Patiño & Serrano, 2016)
Volumen de residuos de aluminio recuperado a través de la ReciApp (m ³)	8,66	Valor calculado
Densidad aparente de los residuos de aluminio (Kg/m ³)	26,5	(Miteco, s.f.)
Peso total del aluminio recuperado en la ReciApp (Kg)	229,49	Valor calculado
Emisiones de GEI evitadas con el reciclaje inclusivo de aluminio (Kg de CO ₂ -eq)	505,79	Valor calculado

Baque, S., Casagualpa, A., Gallardo, L. (2021)

Las emisiones de GEI evitadas gracias al reciclaje inclusivo son de 505,79 kg de CO₂-eq. Esto demuestra la importancia de los recicladores de base como eslabones de la cadena de reciclaje. Cabe destacar que ReciVeci con la ReciApp es parte fundamental de la acción local para la mitigación del cambio climático dentro del escenario condicional de la NDC, el trabajo cooperativo con la Red Nacional de Recicladores no sólo

ha permitido la reducción de los residuos que terminan en los vertederos, sino que también ha reducido las emisiones de GEI al reincorporar los materiales a los procesos. Es importante destacar que el reciclaje a través de ReciApp evita que los recicladores de base metan las manos en la basura para extraer material potencialmente reciclable. Esto dignifica su trabajo y mejora sus condiciones laborales.

Conclusiones

La industria ecuatoriana del aluminio se basa en la fabricación de aluminio secundario. Sin embargo, las pocas empresas que se dedican a esta actividad tienen dificultades para reciclar este material porque, al estar mezclado con metales ferrosos y otros tipos de residuos, el proceso de reciclaje requiere de altos costos económicos y energéticos para recuperar sólo la chatarra de aluminio. A pesar de ello, el reciclaje sigue siendo la mejor forma de devolver los residuos a los procesos productivos.

Por lo tanto, este estudio comparó las emisiones de GEI del aluminio en Ecuador a partir de dos materias primas diferentes, la primera, la producción de 1 kg de perfil de aluminio con materia prima virgen, en este caso el mineral de bauxita, y la segunda, la producción de 1 kg de perfil de aluminio con materia prima reciclada, en este caso la chatarra de aluminio. Cabe destacar que la herramienta de ACV utilizada en este estudio es de gran importancia, ya que facilita la toma de decisiones con respecto a un producto de otro, bajo la evaluación de sus impactos a lo largo de su vida útil.

Los resultados mostraron que existe un potencial de reducción de las emisiones de GEI de casi un 70% mediante el reciclaje del aluminio, lo cual es verificable con otros materiales reciclables como el vidrio, en donde existe un porcentaje de reducción del 53% de emisiones de GEI.

Una vez obtenido el resultado, se determinó la reducción de las emisiones de GEI con la recuperación de este material por parte de los recicladores de base, a través de la ReciApp de la empresa social ReciVeci. Aquí, el resultado es muy favorable, ya que, según los cálculos, en el periodo diciembre 2018 - mayo 2021, se redujeron 505,79 kg de CO₂-eq gracias al reciclaje de residuos de aluminio por parte de los recicladores de base. Esto demuestra que, el uso de la herramienta tecnológica ReciApp no solo ayuda a reducir las emisiones de GEI, sino que, además, dignifica el trabajo de los recicladores de base, ya que no tienen que meter la mano en la basura para buscar material reciclable.

Por otro lado, es importante realizar este tipo de estudios para otros materiales, como el papel, el cartón, el vidrio, el plástico, el Tetrapak, etc. De esta manera, se evitan las limitaciones por falta de información local, tanto en la industria del aluminio como en la de otros materiales reciclables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aristizábal Alzate, C.E., González Manosalva, J.L., Gutiérrez Cano, J.C. (2020). Life cycle assessment and carbon footprint calculus for a pet bottles recycling process at medellin (ant). *Producción Limpia*, 7-24.
- Bermeo, J., Sánchez, V., & López, R. (28 de Febrero de 2018). El Reciclaje la industria del Futuro del Ecuador . Obtenido de UNEMI: <https://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/183/240>
- Coello, B. (noviembre de 2016). Procesos de chatarrización de materiales metálicos producto del mantenimiento automotriz en la ciudad de Cuenca. Obtenido de Universidad de Azuay: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/5288/1/11668.pdf>
- Comisión corporativa de determinación de Factores de Emisión de Gases de efecto invernadero - CTFE. (2019). Factor de emisión de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado de Ecuador. Obtenido de Ambiente.gob.ec: https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/11/factor_de_emision_de_co2_del_sistema_nacional_interconectado_de_ecuador_-_informe_2019.pdf
- Dalir, F., Motlagh, M.S., Ashrafi, K. (2017). A pseudo-comprehensive LCA carbon footprint model for fossil fuel power plants (An Iranian case). *Polish Journal of Environmental Studies* , 1975-1980.

- Department for Business, Energy & Industrial Strategy. (2 de junio de 2021). UK Government GHG Conversion Factors for Company Reporting. Obtenido de UK Government: <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2021>
- Esparza, M., Garay, C., & Martínez, R. (Abril de 2017). El aluminio, material trascendente en la historia humana. Obtenido de Temas de Ciencia y Tecnología: https://www.utm.mx/edi_anteriores/temas61/T61_1E1_El%20aluminio.pdf
- Falappa, M., & Lamy, M. (2019). De una Economía Lineal a una Circular, en el siglo XXI. Obtenido de Universidad Nacional de Cuyo : https://bdigital.uncuyo.edu.ar/objetos_digitales/14316/falappa-fce.pdf
- Guerrero, J.G., Reséndiz, J.R., Reséndiz, H.R., Álvarez-Alvarado, J.M., Abreo, O.R. (2021). Sustainable glass recycling culture-based on semi-automatic glass bottle cutter prototype. *Sustainability*, 6405.
- ImpaQto. (14 de Febrero de 2018). ReciApp, tecnología con impacto social. Obtenido de ImpaQto: <https://www.impaqto.net/reciapp-tecnologia-impacto-social/>
- Iniciativa Regional para el Reciclaje Inclusivo. (2016). Reciclaje inclusivo y recicladores de base en el Ecuador. Obtenido de Latitudr.org: <https://latitudr.org/wp-content/uploads/2016/04/Reciclaje-Inclusivo-y-Recicladores-de-base-en-EC.pdf>
- Ministerio de Fomento. (Enero de 2019). Observatorio de Costes del Transporte de Mercancías por Carretera. Obtenido de Mitma: https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/listado/recursos/observatorio_de_costes_enero_2019.pdf
- Miteco. (Junio de 2020). Fabricación de Aluminio . Obtenido de Sistema Español de Inventario de Emisiones Metodologías de estimación de emisiones: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/040301-fabric-aluminio_tcm30-502319.pdf
- Miteco. (s.f.). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Obtenido de Miteco: <https://www.miteco.gob.es/es/sistema/incluides/errores/404.aspx?aspxerrorpath=/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevenion-y-gestion-resi-duos/flujos/domesticos/fracciones/envases/Que-caracteristicas-tienen.aspx>
- Ohno, H., Shigetomi, Y., Chapman, A., Fukushima, Y. . (2021). Dataling the economy-wide carbon emission reduction potencial of post-consumer recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 166.
- Olac. (Agosto de 2019). Estudio sobre el rol de los gobiernos subnacionales y actores no estatales en la implementación de las NDC. Obtenido de Olac: https://a1f7a9c2-c300-4bce-a10a-f8410b8932f0.filesusr.com/ugd/32948d_745c3e879aea47df88a6bcf03c5fced1.pdf
- Paraskevas, D., Ingarao, G., Deng, Y., Dyflou, J.R., Pontikes, Y., Blanpain, B. (2019). Evaluating the material resource efficiency os secondary aluminium production: A Monte Carlo-based decision-support tool. *Journal of Cleaner Production*, 488-496.
- Pascual, A. (2016). La verdad abreviada sobre reciclar. Obtenido de Conama: <http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama2016/CT%202016/1998973493.pdf>
- Patiño, C., & Serrano, R. (2016). Caraterización de Aluminio que se recicla en la ciudad de Cuenca, en mira de aprovecharlo para la fabricación de partes automotrices. Obtenido de dspace.uazuay.: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/6234/1/12445.pdf>
- Quimbita, R. (noviembre de 2016). Estudio de factibilidad para la creación de una empresa industrial dedicada a la fabricación e instalación de aluminio y vidrio, ubicada en el barrio Edén del Valle del Distrito Metropolitano de Quito. Obtenido de Universidad Central del Ecuador: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15378/1/T-UCE-0003-GM0006-2018.pdf>
- Ramirez , A. (Febrero de 2019). Lights and shadows of the environmental impacts of fossil-based electricity generation technologies: A contribution based on the Ecuadorian experience. Obtenido de ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421518307286>
- ReciVeci. (2019). Quienes somos . Obtenido de <https://reciveci.ec/>
- República del Ecuador . (Marzo de 2019). Primera contribución determinada a nivel nacional para el acuerdo de París bajo la convención marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Obtenido de

Republica del Ecuador : <https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Ecuador%20First/Primera%20NDC%20Ecuador.pdf>

The Aluminum Association. (Diciembre de 2013). The Environmental Footprint of SemiFinished Aluminum Products in North America. Obtenido de The Aluminum Association: https://www.aluminum.org/sites/default/files/LCA_Report_Aluminum_Associa