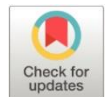


Estado actual de la evaluación del ciclo de vida ambiental en procesos de soldadura manual por arco metálico (MMAW)

Status of environmental life cycle assessment in manual metal arc welding (MMAW) processes

- ¹ Luis Stalin López Telenchana  <https://orcid.org/0000-0001-7548-0406>
Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
luis.lopez@unach.edu.ec
- ² Edison Alejandro Estrella Vargas  <https://orcid.org/0009-0007-6673-6845>
Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
edison.estrella@unach.edu.ec
- ³ Cristhian Leodan Fajardo Maigua  <https://orcid.org/0009-0008-0413-1055>
Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
cristhian.fajardo@unach.edu.ec
- ⁴ Luis Ángel Sáenz Hidalgo  <https://orcid.org/0009-0004-6327-5041>
Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
luis.saenz@unach.edu.ec



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 13/12/2023

Revisado: 15/01/2024

Aceptado: 14/02/2024

Publicado: 05/04/2024

DOI: <https://doi.org/10.33262/ap.v6i2.474>

Cítese:

López Telenchana, L. S., Estrella Vargas, E. A., Fajardo Maigua, C. L., & Sáenz Hidalgo, L. Ángel. (2024). Estado actual de la evaluación del ciclo de vida ambiental en procesos de soldadura manual por arco metálico (MMAW). AlfaPublicaciones, 6(2), 112–126. <https://doi.org/10.33262/ap.v6i2.474>



Ciencia
Digital
Editorial



ALFA PUBLICACIONES, es una revista multidisciplinar, **trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://alfapublicaciones.com>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Attribution Non Commercial No Derivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Palabras

claves:

procesos,
soldadura,
manual, arco,
metálico, ciclo,
vida, ambiental.

Keywords:

Processes,
welding,
manual, arc,
metal, cycle,
life,
environmental.

Resumen

Introducción: en la actualidad la soldadura es uno de los procesos de fabricación más importante en el sector manufacturero, pues une dos o más piezas mediante calentamiento o mediante procesos de fundición, aplicando o no presión. La finalidad de la fabricación por procesos de soldadura es unir materiales para que cumplan requisitos o necesidades de servicio sin que ello implique costo elevados, implicaciones negativas al medio ambiente o efectos adversos a los trabajadores. Es por ello que la evaluación del ciclo de vida (ACV) es una metodología que se aplican a nivel ingenieril para evaluar los distintos impactos ambientales de las tecnologías de soldadura, esta metodología ha sido aplicada en procesos de soldadura manual por arco metálico (MMAW), en donde el consumo excesivo de recursos como electrodos y energía necesaria para fundir los consumibles contribuyen a la generación de impactos ambientales negativos, siendo procesos potenciales de calentamiento global, de creación de ozono fotoquímico y eutrofización. **Objetivo:** investigar el avance en el estado del arte de las evaluaciones del ciclo de vida ambiental en procesos de soldadura MMAW. **Resultados:** los resultados del análisis de ciclo de vida ambiental indican que, para un cordón de soldadura de 1 metro de longitud mediante el proceso MMAW se consume mayor cantidad de recursos, como materiales de relleno y revestimientos de electrodos, además de un mayor consumo de energía eléctrica por parte de la máquina de soldar, lo que contribuye a impactos ambientales comparativamente mayores a los generados en otros procesos de soldadura. **Conclusiones:** se concluyó que la baja velocidad de soldadura y tasa alta de deposición conducen a tiempos elevados de soldadura en procesos MMAW, en consecuencia, la baja productividad y el exceso de recursos generan un mayor impacto al medio ambiente.

Abstract

Introduction: welding is currently one of the most important manufacturing processes in the manufacturing sector, as it joins two or more parts by heating or by casting processes, applying pressure or not. The purpose of manufacturing by welding processes is to join materials to meet requirements or service needs without involving excessive costs, negative environmental implications, or adverse effects on workers. This is why the life cycle assessment

(ACV) is a methodology applied at the engineering level to evaluate the different environmental impacts of welding technologies. This methodology has been applied in manual metal arc welding processes (MMAW), where the excessive consumption of resources such as electrodes and energy needed to melt the consumables contribute to the generation of negative environmental impacts, being potential processes of global warming, photochemical ozone creation and eutrophication. To investigate the progress in the state of the art of environmental life cycle **Objective:** assessments in MMAW welding processes. **Results:** the results of the environmental life cycle analysis indicate that, for a weld bead of 1 meter in length using the MMAW process, a greater amount of resources are consumed, such as filler materials and electrode coatings, in addition to a greater consumption of electrical energy by the welding machine, which contributes to environmental impacts comparatively greater than those generated in other welding processes. **Conclusions:** it was concluded that low welding speed and high deposition rate lead to high welding times in MMAW processes, consequently, low productivity and excess resources generate a greater impact to the environment.

Introducción

En la actualidad la creciente concienciación mundial sobre la sostenibilidad y su aplicabilidad en los distintos procesos de fabricación a nivel industrial se ha convertido en uno de los mayores objetivos que persiguen los gobiernos de turno y el sector manufacturero. Cabe recalcar que según Chang et al. (2012), "la sostenibilidad considera las dimensiones ambientales, económicas y sociales como teoría de la triple cuenta de resultados" (p. 293). En este sentido, se puede establecer que hoy en día para que un proceso es considerado sostenible debe relacionarse en las tres dimensiones antes señaladas para ser considerado como eficaz y eficiente.

La metodología más avanzada y con mejores resultados para evaluar de forma adecuada el impacto ambiental de un proceso o de un producto es sin duda alguna el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) (Organización Internacional de Normalización [ISO], 2006), el ACV constituye una metodología estandarizada por la Organización Internacional de Normalización ampliamente utilizada en distintas organizaciones a nivel mundial, según Klöpffer & Grahl (2009), "el análisis de ciclo de vida es la mejor herramienta

metodológica utilizada para estimar el impacto ambiental potencial de los productos a lo largo de todo su ciclo de vida" (p. 36). Por lo antes acotado podemos establecer que con el ACV de la Norma ISO 14040 se puede analizar y cuantificar tanto los aspectos ambientales como los impactos potenciales los procesos de procesos de soldadura manual por arco metálico (MMAW) de forma adecuada.

Al estudiar el ACV podemos establecer de mejor manera el impacto de cualquier actividad o proceso al medio ambiente. "Es el método más avanzado y la metodología experimental con mayores resultados en la evaluación de la carga medioambiental a nivel de proceso o de producto, y también en la prevención del desplazamiento de la carga de las distintas fases del ciclo de vida" (Chang et al., 2015, p. 47). En ese sentido el aplicar esta metodología al proceso de soldadura manual por arco metálico (MMAW) permitirá conocer técnicamente la carga ambiental de dicho proceso industrial.

Las diversas investigaciones desarrolladas alrededor de los procesos de soldadura manual por arco metálico muestran que las herramientas propuestas para la evaluación del impacto ambiental son útiles para tomar decisiones. Según Stijn et al. (2021), "las principales herramientas que se pueden adoptar para predecir el impacto ambiental y el rendimiento de los procesos de fabricación son la Evaluación del Ciclo de Vida (LCA) y la Evaluación de Riesgos (RA). Estos se caracterizan por diferentes metodologías y criterios de toma de decisiones (p. 91). Lo que contribuye en mejorar la eficiencia de los procesos de soldadura.

Para realizar el análisis de ACV y la correspondiente explicación de resultados la Organización Internacional de Normalización (ISO) define cuatro etapas. La primera etapa de cualquier análisis y la más importante es definir claramente las metas y objetivos del estudio, incluido el propósito del estudio y la aplicación prevista. Según Yilbas et al. (2020), "el objetivo principal pasa a ser examinar las influencias ambientales asociadas con la soldadura por arco metálico. Se debe definir una unidad funcional para proceder con el análisis y comparación del ACV" (p. 102).

La soldadura de cualquier tipo es el proceso con mayor importancia en la mayoría en el sector manufacturero. "En términos de consumo de material y energía, cada proceso de soldadura es diferente entre sí y, por tanto, tiene un impacto medioambiental diferente. Se estima que entre el 0,5 y el 1% de los consumibles de la soldadura por arco se convierten en partículas, gases y emisiones" (Sangwan et al., 2016, p. 63). Por lo antes expuesta, se puede establecer que, a nivel mundial, los contaminantes liberados durante el proceso de soldadura MMAW se expresan en toneladas lo que genera un problema de gestión de residuos sólidos y por otro lado el proceso obligatoriamente consume una gran cantidad de energía eléctrica, lo que en algunos países a provocado la generación de políticas de control de consumo responsable, con la finalidad de lograr una armonía entre el sector industrial que comúnmente necesita de este tipo de procesos de soldadura.

Existen diversas investigaciones en donde se han evaluado los impactos ambientales de procesos de soldadura, principalmente se ha estandarizado la utilización de placas metálicas de 1 m de largo y de diversos espesores. Según Sproesser et al. (2015), "establecieron que la soldadura manual por arco metálico (MMAW) contribuyó significativamente al deterioro del impacto ambiental, esto principalmente por el potencial de eutrofización, el potencial de acidificación y el potencial de eutrofización" (p. 51). Este análisis permite establecer la importancia de un adecuado control ambiental en este tipo de procesos de soldadura, pues su masificación significa un grave peligro de contaminación atmosférica, que son duda contribuya el calentamiento global.

El ACV de los procesos MMAW han generado diversos criterios para poder potenciarlos, entre los cuales se destacan la experimentación mediante la variación de los parámetros de aplicación del proceso de soldadura. Según Patil & Kadam (2020), "al modificar los parámetros de los procesos de soldadura manual por arco metálico como la corriente de soldadura (amperios), la velocidad de soldadura (mm/s), la separación de la raíz (mm) y el ángulo del electrodo (grados), el impacto ambiental generado por el proceso se reduce significativamente (p. 306). Por lo antes señalado se puede establecer que el ACV depende del contexto de operación en el cual se desarrolla el proceso de soldadura.

El análisis de ciclo de vida es una metodología ideal para establecer el impacto al medio ambiente generado por procesos de soldadura, que no involucran solamente materiales de aporte como electrodos, sino también el empleo de electricidad y la emisión de gases que afectan directamente a la capa de Ozono. Según Di Bella et al. (2022), "el ACV evalúa e integra información en múltiples categorías de impacto, como el uso del agua, el cambio climático y el agotamiento del ozono, con consideraciones de impacto múltiple destinadas a evitar el cambio de carga (p. 127). Por lo antes señalado se puede establecer que la reducción en una categoría de impacto conduce a un aumento en otras categorías de impacto, sin importar el proceso evaluado.

Varias investigaciones del sector metalmecánico exponen distintas dificultades que acarrea el empleo de procesos de soldadura, procesos cuya utilización es masificada debido a que fácil accesibilidad y sencilla aplicabilidad. Según Peña & Cogollos (2021), "la necesidad de introducir nuevos conceptos en la industria metalmecánica relacionados con la optimización de los recursos financieros, energéticos, y el aumento de la productividad sin detrimento de la calidad de las producciones realizadas y su influencia en el Medio Ambiente pone ante los especialistas de manufactura un reto en la búsqueda de alternativas para viabilizar estas exigencias" (p. 103). De las anteriores exigencias se puede establecer que la principal está en torno a la influencia de impactos negativos al ambiente, buscando soluciones viables mediante análisis ACV.

El Análisis de Ciclo de Vida Ambiental en procesos de soldadura es una evaluación de tipo cuantitativo, que arroja resultados que aportan de manera significativa en la

disminución del impacto negativo provocado al medio ambiente, y ayudan a la generación de políticas que mitiguen dicho impacto. Según Atencio & Yuriela (2019), "el impacto ambiental de procesos de soldadura MMAW tiene relevancia dado por el consumo de materiales como electrodos, láminas, varillas, entre otros, generando gran cantidad de materiales de desecho y además la emisión de gases perjudiciales a la atmósfera (p. 119). Por lo antes señalado es evidente que problemas como la acumulación de residuos sólidos y la contaminación atmosférica por gases industriales son los principales factores para evaluar mediante el ACV.

La soldadura manual por arco metálico es uno de los procesos de manufactura con mayor difusión debido a su sencilla aplicación. "El proceso de soldadura MMAW es una práctica que se asocia a la necesidad de construir elementos funcionales de tipo metálico altamente demandado, involucra la necesidad de realizar una tarea operativa que implica riesgos ambientales por ejercer esta actividad, principalmente por la proyección de partículas y la emisión de gases producto de la fundición del electrodo" (Tangarife et al., 2022, p. 30).

Los procesos de soldadura por su naturaleza y gran empleo en distintas áreas se han convertido en un problema ambiental en la actualidad. Según Nimker & Wattal (2020), "los efectos perjudiciales de los humos de soldadura, de las chispas y de la escoria sobre la calidad del aire y el agua han atraído el interés de muchos investigadores por investigar estos contaminantes y las posibles soluciones para mitigar el daño que los mismos ocasionan al medio ambiente" (p. 183). Por lo que aplicar de manera adecuada un ACV aporta de manera sustancial a mejorar los procesos de soldadura MMAW, pues se puede establecer de manera clara las repercusiones que tienen los desechos en el ambiente, generando sin duda alguna un impacto ambiental negativo tanto al agua como al aire.

Otra de las fuentes generadoras de desecho sólidos en procesos de soldadura MMAW son los electrodos revestidos. Según Priya (2023), "la pérdida de trozos asociada con los electrodos de soldadura en el proceso de soldadura MMAW también es una preocupación importante, ya que genera desperdicio de material y un aumento del costo de la soldadura. A nivel mundial, el mercado de consumibles de soldadura superó los 14.490 millones de dólares en 2023 y se espera que crezca anualmente un 4,3% (p. 49). De lo anterior acotada hay que establecer que la porción no utilizada de un electrodo de soldadura que queda después de que el electrodo se ha utilizado para soldar se denomina pérdida de trozo, mismo que se vuelve un desperdicio sólido que viene generando problemas en distintas organizaciones.

Los distintos análisis de ACV llevados a cabo en las investigaciones muestran la necesidad de implementar políticas de reciclado para las pérdidas de trozo de los electrodos revestidos. Según Khan & Madhukar (2023), "se prevé que la reutilización de los residuos de soldadura reducirá significativamente el impacto medioambiental. Además de los trozos y los restos de alambre y materiales, también se podrían utilizar

bloques tipo Lego como pequeñas unidades metálicas (p. 61). Por lo antes señalado, se puede establecer la necesidad de buscar alternativas ambientales que reduzcan los residuos sólidos, enfocando los esfuerzos en el reciclado de subproductos propios de los procesos de soldadura.

Distintas investigaciones en la actualidad emplean varios softwares para realizar el Análisis de Ciclo de Vida de forma más adecuada. En la investigación de Roucoules et al. (2020), realizaron el análisis de ACV con el software OpenLCA versión 1.10.1, integrado con la base de datos Ecoinvent versión 3.6, llegando a establecer que "La asignación de la carga ambiental pueden ser manejados mediante el límite de asignación por clasificación, es decir, se puede emplear el método de límite" (p. 34). Por lo antes indicado es posible determinar que el ACV se puede realizar mediante distintos métodos y los resultados serán relevantes en el campo de impacto ambiental.

Metodología

En el presente trabajo se hace una recopilación del estado actual de las evaluaciones del Ciclo de Vida Ambiental (ACV) en procesos de soldadura manual por arco metálico (MMAW), para lo cual se desarrolló investigación cualitativa, además el presente estudio es una investigación documental que permite el estudio del conocimiento acumulado sobre el tema propuesto, finalmente el método de investigación ejecutado es analítico en donde se sintetizó la información de múltiples estudios realizados a nivel mundial.

Para desarrollar la investigación se emplearon criterios de inclusión y de exclusión, los primeros se relacionan a la producción científica académica de repositorios virtuales de alto impacto como Scopus y Scielo, se tomó en cuenta también tesis doctorales, para una mayor relevancia del estudio planteado, el enfoque de búsqueda de información está centrado en la evidencia existente en los trabajos investigativos del impacto ambiental de los procesos de soldadura y las causas comunes que provocan impactos negativos al medio ambiente, es decir los trozos de electros y las emisiones de gases a la atmósfera. Con relación a los segundos criterios no fueron tomados en cuenta investigaciones científicas con más de 5 años de publicadas a la realización de la investigación y por supuesto los otros procesos de soldadura, esto debido a que cada proceso genera sus propios desechos, además que los entornos en los que se ejecutan son distintos en cuanto a instalaciones, elementos consumibles, condiciones de consumos de electricidad, gas o cualquier otro elemento empleado en la fusión de las piezas a soldar.

Al ser una revisión sistemática de información no hace falta la autorización de instituciones u organizaciones, pues no se nombra marcas o instituciones en el desarrollo de la investigación, tampoco nace la necesidad de la autorización de consejos científicos, comité de ética, o consentimiento informado, pues es información de dominio público, lo que aporta de gran manera a la difusión de resultados de investigación así como su

recopilación y planteamiento principalmente de políticas ambientales que generen procesos de soldadura con mayor eficiencia y eficiencia.

La presente investigación busca ampliar los conocimientos sobre la problemática ambiental que se ha establecido en los procesos de soldadura MMAW, para ellos se plantea dos fases de ejecución, mismas que se describen a continuación:

En primer lugar, la búsqueda de información que haya sido publicada mediante procesos de revisión adecuados, con la finalidad de validar el contexto y poder realizar un análisis acorde al tema planteado. En segundo lugar, la valoración crítica de la información antes recolectada permite generar opiniones solventadas en un marco de investigación sin dejar de lado la perspectiva lógica de la investigativa de campo.

Resultados

Del análisis de las diversas investigaciones se puede establecer el resultado del impacto del ciclo de vida ambiental ACV general, mismos que se presenta en la Tabla 1, en donde los distintos valores fueron tomados bajo la referencia de 1 m/mm² de cordón de soldadura.

Tabla 1

Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida Ambiental (ACV) del proceso de soldadura

Grupo de categorías de impacto	FSW	Unidad
cambio climático (cambio climático biogénico)	1.80E-04	kg CO2-Eq
cambio climático (fósil del cambio climático)	1.17E-02	kg CO2-Eq
cambio climático (cambio climático uso de la tierra y cambio de uso de la tierra)	1.41E-05	kg CO2-Eq
cambio climático (cambio climático total)	1.19E-02	kg CO2-Eq
Calidad del ecosistema (acidificación del agua dulce y terrestre).	3.38E-05	mol H+-Eq.
calidad del ecosistema (ecotoxicidad del agua dulce)	3.47E-03	CTU (Unidad Tóxica Comparativa)

Tabla 1

*Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida Ambiental (ACV) del proceso de soldadura
(continuación)*

Grupo de categorías de impacto	FSW	Unidad
calidad del ecosistema (eutrofización de agua dulce)	1.67E-05	kg P-Eq
calidad del ecosistema (eutrofización marina)	8.67E-06	kg N-Eq
calidad del ecosistema (eutrofización terrestre)	8.29E-05	mol N-Eq
salud humana (efectos cancerígenos)	1.25E-10	CTUh (CTU para humanos)
salud humana (radiación ionizante)	2.06E-03	kgU235-Eq
salud humana (efectos no cancerígenos)	1.13E-09	CTUh
salud humana (agotamiento de la capa de ozono)	4.57E-10	kg CFC-11-Eq.
salud humana (creación de ozono fotoquímico)	1.57E-05	kg NMVOC-Eq (Compuestos orgánicos volátiles distintos del metano-Equivalente)
salud humana (efectos respiratorios, inorgánicos)	1.39E-10	incidencia de enfermedades
recursos (agua disipada)	0	m ³ agua-Eq
recursos (fósiles)	1.95E-01	mj
recursos (uso de la tierra)	6.74E-02	puntos
recursos (minerales y metales)	4.88E-12	kg Sb-Eq

Fuente: Di Bella et al. (2022)

Como es evidente la emisión de CO₂ aporta de manera significativa en el cambio climático en sus distintas fases, esto sumado a que el proceso MMWA es el más popular en todo el mundo agrava más la situación en cuanto a impacto ambiental, al mismo tiempo estos resultados siguien la necesidad urgente del planteamiento de políticas ambiental y de soluciones viables que vayan en función de una verdadera mitigación de los impactos negativos que están generando este tipo de procesos de soldadura alrededor del planeta.

Otro de los causantes de contaminación ambiental en procesos industrial son los trozos de electrodos revestidos utilizados en la soldadura MMAW, de las investigaciones consultadas se establece que en promedio el trozo del electrodo llega a medir aproximadamente 2 pulgadas, lo que representa entre el 11 y el 17 % del electrodo útil. Lo antes señalado sin duda alguna genera un grave problema ambiental por desechos sólidos industriales. Las ACV analizadas establecen que la pérdida anual por la inutilización de los electrodos revestidos está en el orden de 720 millones a 1100 millones de dólares a nivel mundial (Vimal et al., 2015).

En términos de peso, esta pérdida podría representar aproximadamente 364 kT a nivel mundial, lo que en ciudades industrializadas ha generado inconvenientes en el tratamiento de desechos, esto debido a que el trozo del electrodo es difícil de reutilizar y, en general, de desechar, lo que aumenta el coste del proceso de soldadura. La decisión de deshacerse de los trozos de electrodos de soldadura está influenciada por el flujo residual presente en los trozos, la falta de una infraestructura de reciclaje adecuada y el cumplimiento de las directrices económicas y legales.

Discusión

La aplicación de ACV en procesos de soldadura manual por arco metálico (MMAW) evidencia problemas ambiental que fundamentalmente se deben a la baja productividad por la falta de utilización de todos los electrodos como insumos y velocidad de soldadura cuya desproporción genera la emisión de gases contaminantes a la atmósfera, que como se han demostrado en las múltiples investigaciones aportan de manera sustancial a la afectación negativa al medio ambiente, al punto de que todas las investigaciones citadas concuerdan en que el proceso MMAW genera mayores impactos ambientales en calentamiento global, acidificación, creación de ozono fotoquímico y eutrofización.

Los resultados de la aplicación de ACV en los procesos de soldadura han generado un aporte que permite realizar un acercamiento a las problemáticas existentes alrededor de la soldadura MMAW, pues concientiza sobre la necesidad de reducción de materiales de consumos como los electros revestidos, además de la urgencia de medidas que mitiguen el impacto negativo generado por la emisión de humos propios de la soldadura, alternativas como la implementación de estrategias a nivel técnico para reducir los

tiempos de ejecución de cordones de soldadura y la ocupación de la totalidad de un electrodo han sido señaladas en las investigaciones acotadas.

Otro de los inconvenientes que se evidenciaron en las investigaciones fue la falta de una política de recolección de residuos para los talleres y pequeñas industriales dedicadas a la manufactura, además varios artículos tratan sobre las precarias condiciones de trabajo, lo que provoca la falta de conciencia e intención entre los operadores y soldadora, lo que lleva a que se mezclen los trozos con otros desechos sólidos. Es imperativo que la industria de la soldadura tome medidas para minimizar la pérdida de trozos y reducir el impacto ambiental.

Los resultados de ACV buscan sin duda alguna garantizar que la soldadura siga desempeñando un papel importante en la industria y al mismo tiempo proteja el medio ambiente. Por lo que en esta revisión sistemática se encuentran propuestas generales que aportan a la reducción de pérdidas de trozos y a la reducción los costos de soldadura los cuales incluyen el uso de electrodos extendidos, almacenamiento y manipulación adecuados, técnicas de soldadura mejoradas, uso de procesos de soldadura eficientes en tiempo, todas estas soluciones son reiterativas en los trabajos consultados.

Conclusiones

- Se pudo establecer que la aplicación de la soldadura manual por arco metálico (MMAW) contribuye significativamente al deterioro de las categorías de impacto ambiental analizadas mediante ACV, incluido, el potencial de eutrofización, el potencial de acidificación, el potencial de calentamiento global la emisión de gases de efecto invernadero, la generación de desechos sólidos, lo que ha provocado en varios países la generación de políticas ambientales que regulen esta actividad industrial masificada.
- Se pudo concluir que los trozos inutilizados de los electrodos de los procesos de MMAW contribuyen significativamente al deterioro del medio ambiente, sobre todo por la falta de tratamiento adecuado de estos desechos sólidos, que combinados con el descontrol de las emisiones de gases propios del proceso de soldadura se convierten en un problema ambiental en todo el mundo principalmente debido al alto consumo de energía y al desperdicio descontrolado de recursos.
- Se pudo determinar que varias investigaciones coincidieron que la minimización y eliminación de residuos son una de las estrategias más apropiadas para reducir el impacto negativo generado por un proceso MMAW enfocados lógicamente en el desarrollo sostenible de un país. Esto no sólo reduce el coste de la soldadura, sino que también reduce el impacto medioambiental de la soldadura al reducir los residuos.

- Se pudo concluir que se requiere un reciclaje total del material de relleno en este caso de los electrodos para lograr escenarios productivos sostenibles. Estos trozos se pueden reutilizar en algunas situaciones, como capacitación en soldadura, trabajos de reparación y mantenimiento que requieren una soldadura más pequeña. Los trozos también podrían molerse y reducirse a polvo metálico o fundirse para reutilizarse como material de relleno en la fundición. Alternativas que han sido propuestas en las diversas investigaciones referenciadas.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en relación con el artículo presentado.

Referencias Bibliográficas

- Atencio, G., & Yuriela, A. (2019). *Peligros y riesgos asociados a las labores de soldadura piscina olímpicas David* [Tesis doctoral, Universidad especializada de las Américas]
- Chang, J., Schau, E., & Finkbeiner, M. (2012). *Application of life cycle sustainability assessment to the bamboo and aluminum bicycle in surveying social risks of developing countries*. The 2nd World Sustainability Forum; November 1-302012
- Chang, Y., Sproesser, G., Neugebauer, S., Wolf, K., Scheumann, R., Pittner, A., Rethmeier, M., & Finkbeiner, M. (2015). Environmental and Social Life Cycle Assessment of Welding Technologies, *Procedia CIRP*, Volume 26, Pages 293-298, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.084>
- Di Bella, G., Alderucci, T., Salmeri, F., & Cucinotta, F. (2022). Integrating the sustainability aspects into the risk analysis for the manufacturing of dissimilar aluminum/steel friction stir welded single lap joints used in marine applications through a Life Cycle Assessment. *Sustainable Futures*, 4, 100101. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2022.100101>
- Khan, Anas Ullah, & Madhukar, Yuvraj K. (2023). Repurposing welding waste stubs and wires as substrate in directed energy deposition processes. *Journal of Cleaner Production*, 427, 139317. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139317>.
- Klöppfer, W., & Grahl, B. (2009). *Ökobilanz (lca): Ein leitfaden für ausbildung und beruf*. John Wiley & Sons.
- Nimker, D., & Wattal, R. (2020). Recycling of submerged arc welding slag for sustainability. *Production & Manufacturing Research*, 8(1), 182-195.

- Organización Internacional de Normalización [ISO]. (2006). *Gestión medioambiental - Evaluación del ciclo de vida - principios y marco* (ISO 14040:2006). 2. ed. Julio 2006 ed. Ginebra.
- Patil, U., & Kadam, M. (2020). Multi objective optimization of MMAW process parameters for joining stainless steel 304 with mild steel by using response Surface methodology. *Materials Today: Proceedings*, 26(2), 305-310. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.277>.
- Peña, J., & Cogollos, A. (2021). Apropriación social de la factibilidad ambiental del empleo de procesos de soldadura por fricción. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(1), 103-109. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202021000100103&lng=es&tlng=es.
- Priya Nagrale. (2023). Welding materials market research report information by type (Electrode & Fillers, Fluxes & Wires, and Gases), by Technology (Arc Welding, Resistance Welding, and Oxy-Fuel Welding), by End-Use Industry (Automotive & Transportation, Building & Construction. ID: MRFR/CnM/1194-HCR.
- Roucoules, L., Paredes, M., Eynard, B., Morer Camo, P., & Rizzi, C. (2020). *Avances en Mecánica, Ingeniería de Diseño y Manufactura III* [Actas de la Conferencia Internacional Conjunta sobre Mecánica, Ingeniería de Diseño y Fabricación Avanzada, JCM 2020, 2-4 de junio de 2020]. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-70566-4>
- Sangwan, K., Herrmann, C., Egede, P., Bhakar, V., & Singer, J. (2016). Life cycle assessment of arc welding and gas welding processes. *Procedia CIRP*, 48, 62-67. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.096>.
- Sproesser, G., Chang, Y., Pittner, A., Finkbeiner, M., & Rethmeier, M. (2015). Life cycle assessment of welding technologies for thick metal plate welds. *Journal of Cleaner Production*, 108(2), 46-53. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.121>.
- Stijn, A., Malabi, L., Wouterszoon, B., & Meijer, A. (2021). A Circular Economy Life Cycle Assessment (CE-LCA) model for building components. *Resources, Conservation and Recycling*, 174, 105683. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105683>
- Tangarife, H., Rodríguez, D., Salgado, A., Guevara, G., Valencia, J., & Peñuela, V. (2022). Realidad aumentada: impacto y tendencias en la formación profesional

de soldadura multiprocesos. *Revista Metalnova*, 5(1).
<https://doi.org/10.22022/metalnova.v5i1.5301>

Vimal, K. E. K., Vinodh, S., & Raja, A. (2015). Modelling, assessment, and deployment of strategies for ensuring sustainable shielded metal arc welding process—a case study. *Journal of Cleaner Production*, 93, 364-377

Yilbas, B., Shaukat, M., Afzal, A., & Ashraf, F. (2020). Life cycle analysis for laser welding of alloys. *Optics & Laser Technology*, 126, 106064.
<https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2020.106064>



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Alfa Publicaciones**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Alfa Publicaciones**.



Indexaciones

