



## *Gestión de residuos en la industria mecánica*

## *Waste management in the mechanical industry*

## *Gestão de resíduos na indústria mecânica*

Christian Enrique Álava-Vélez <sup>I</sup>  
[christian.alava.velez@utelvt.edu.ec](mailto:christian.alava.velez@utelvt.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0008-7911-062X>

Alex Andrés Gonzales-Vega <sup>II</sup>  
[alex.gonzalez.vega@utelvt.edu.ec](mailto:alex.gonzalez.vega@utelvt.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-3785-0442>

Pablo Luis Ortiz-Caicedo <sup>IV</sup>  
[pablo.ortiz@utelvt.edu.ec](mailto:pablo.ortiz@utelvt.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0004-7149-130X>

Aníbal Javier Chica-Tambaco <sup>V</sup>  
[anibal.chica.tambaco@utelvt.edu.ec](mailto:anibal.chica.tambaco@utelvt.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0002-5208-8713>

**Correspondencia:** [christian.alava.velez@utelvt.edu.ec](mailto:christian.alava.velez@utelvt.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 13 de febrero de 2024 \* **Aceptado:** 03 de marzo de 2024 \* **Publicado:** 10 de abril de 2024

- I. Universidad Técnica "Luis Vargas Torres" de Esmeraldas, Ecuador.
- II. Universidad Técnica "Luis Vargas Torres" de Esmeraldas, Ecuador.
- III. Universidad Técnica "Luis Vargas Torres" de Esmeraldas, Ecuador.
- IV. Universidad Técnica "Luis Vargas Torres" de Esmeraldas, Ecuador.

## Resumen

La gestión de residuos en la industria mecánica es un elemento imperativo y altamente necesario para apoyar los esfuerzos de protección medio ambiente. Principalmente a escala mundial este sector productivo es responsable de generar toneladas de contaminantes bioacumulativos, cuyo impacto negativo se deje sentir en los ecosistemas terrestres. Actualmente, existe la exigencia sobre los segmentos productivos de avanzar hacia un desarrollo sustentable, de abandonar las prácticas de la economía lineal y acoger los postulados que brinda la economía circular, lo que supone una transformación hacia una conciencia de responsabilidad social y ecológica que conlleve a producir y consumir de forma sostenible. Por esta razón, este ensayo tiene como objetivo general describir la gestión de residuos en la industria mecánica, como forma de contribuir a desarrollar y mejorar la conciencia ambiental que sirva para actuar a favor de la protección del medioambiente desde dicho ámbito económico. En este sentido, la gestión de residuos industriales bajo el enfoque convencional junto a la incorporación de tecnologías IoT, IA, Big Data, ML entre otras, puede mejorarse sustancialmente la gestión de los residuos industriales, los cuales pueden reciclarse, reutilizarse, remanufacturarse, reacondicionarse, desacoplarse, como acciones conducentes a la circularidad para una producción y un consumo sostenible, en todos los sectores empresariales y especialmente en la industria mecánica.

**Palabras clave:** Gestión; residuos; industria; medioambiente; sostenible.

## Abstract

Waste management in the mechanical industry is an imperative and highly necessary element to support environmental protection efforts. Mainly on a global scale, this productive sector is responsible for generating tons of bioaccumulative pollutants, whose negative impact is felt in terrestrial ecosystems. Currently, there is a demand on the productive segments to move towards sustainable development, to abandon the practices of the linear economy and embrace the postulates offered by the circular economy, which represents a transformation towards an awareness of social and ecological responsibility that leads to produce and consume sustainably. For this reason, the general objective of this essay is to describe waste management in the mechanical industry, as a way to contribute to developing and improving environmental awareness that serves to act in favor of the protection of the environment from said economic field. In this sense, the management of industrial waste under the conventional approach together with the

incorporation of IoT, AI, Big Data, ML technologies among others, the management of industrial waste can be substantially improved, which can be recycled, reused, remanufactured, reconditioned, decoupling, as actions leading to circularity for sustainable production and consumption, in all business sectors and especially in the mechanical industry.

**Keywords:** Management; waste; industry; environment; sustainable.

## Resumo

A gestão de resíduos na indústria mecânica é um elemento imperativo e altamente necessário para apoiar os esforços de proteção ambiental. Principalmente à escala global, este setor produtivo é responsável pela geração de toneladas de poluentes bioacumulativos, cujo impacto negativo se faz sentir nos ecossistemas terrestres. Atualmente, há uma demanda dos segmentos produtivos para que caminhem em direção ao desenvolvimento sustentável, abandonem as práticas da economia linear e abracem os postulados oferecidos pela economia circular, o que representa uma transformação para uma consciência de responsabilidade social e ecológica que leva a produzir e consumir de forma sustentável. Por este motivo, o objetivo geral deste ensaio é descrever a gestão de resíduos na indústria mecânica, como forma de contribuir para o desenvolvimento e melhoria da consciência ambiental que sirva para atuar em favor da proteção do meio ambiente nesse campo econômico. Neste sentido, a gestão de resíduos industriais sob a abordagem convencional aliada à incorporação de tecnologias IoT, AI, Big Data, ML entre outras, a gestão de resíduos industriais pode ser substancialmente melhorada, podendo ser reciclados, reutilizados, remanufaturados, recondicionados, dissociação, como ações conducentes à circularidade para a produção e o consumo sustentáveis, em todos os setores empresariais e especialmente na indústria mecânica.

**Palavras-chave:** Gestão; resíduos; industria; meio ambiente; sustentável.

## Introducción

Una buena gestión del entorno va alineada con las premisas del desarrollo sustentable para aspirar a un mundo mejor al cual todos tenemos derecho, en procura de que se respeten los intereses de todos los ciudadanos al disfrute de un medio ambiente sano y limpio, los llamamientos al sector económico, y en especial a los grupos industriales han sido numerosos, ya que aunque su función es identificada como necesaria para la obtención de bienes y servicios que facilitan la vida del ser

humano, a la par, se reconoce el efecto perjudicial que sobre la naturaleza ha tenido a través de tiempo, la cantidad de residuos que generan las actividades de diversos tipos ejecutadas en dicho dinámico y multidimensional campo productivo.

Las actividades industriales desarrolladas en una espiral escasamente armonizadas y comprometidas con la naturaleza, han tenido un impacto relevante en la triple crisis ambiental que hoy impacta al planeta, esta problemática es definida en el reporte (Naciones Unidas, 2022) como una amenaza para el bienestar y la supervivencia de millones de personas en todo el mundo, es comúnmente entendida desde tres ópticas: 1) la alteración del clima; 2) la pérdida de naturaleza y biodiversidad y 3) la contaminación y los residuos.

En el espacio concerniente a la contaminación y los residuos, el estamento industrial necesita imperiosamente mostrar mayor responsabilidad con el entorno, en particular, porque constituyen una de las partes implicadas en la eliminación inadecuada de las sustancias descartadas, las cuales impactan severamente al medio natural. A tono con esto, señalan los autores Shahbaz et al, (2023) la expansión de las actividades manufactureras y el establecimiento de unidades industriales a escala global en diferentes industrias (por ejemplo, petroquímica, alimentaria, petrolera, siderúrgica), así como diversos productos con diversas aplicaciones, han aumentado el volumen de residuos industriales peligrosos.

En concordancia con estos planteamientos, Morán, (2012) argumenta, la cantidad de residuos industriales generados a nivel industrial es preocupante, pues además de ser más variados y numerosos son más peligrosos y como consecuencia más difícil de controlar, causando serios problemas a las operaciones de utilización y posterior eliminación de los mismos. Según, la Asociación Internacional de Residuos Sólidos (ISWA, por sus siglas en inglés) la gestión inadecuada de los residuos supone una amenaza directa para el ambiente, la biodiversidad y la salud humana, tanto a nivel local como global, y afecta a miles de millones de personas en todo el mundo (ISWA, 2021).

De esta forma adquiere un mayor compromiso la conciencia social, para la búsqueda de nuevos métodos y procedimientos para la solución más eficiente para el tratamiento de los residuos sólidos industriales que sea cada vez más evidente, de forma que, si bien su generación es inevitable, se puedan favorecer los posteriores procesos de reutilización o eliminación más óptimos para el medio ambiente (Morán, 2012).

En relación con el tema de los residuos industriales peligrosos, se ha manifestado claramente en diversas fuentes especializadas, que se requiere imponer un control más estricto de la gestión de dichos desechos, por las repercusiones que tienen para la salud de los seres humanos, el impacto dañino ambiental, sumado al hecho de que algunos de los tipos de residuos procedentes de las industrias no se degradan en el tiempo (Chere, 2017). En este sentido, Millati et al, (2019) observan, los residuos industriales no biodegradables, se tratan de desechos industriales que no se pueden descomponer en gases y agua. Son generados por industrias como las de fertilizantes, química y petrolera, farmacéutica y farmacéutica, mecánica, de tintes, plantas de energía nuclear, procesamiento de polímeros, construcción, fundición, metal y plantas siderúrgicas. Los residuos no biodegradables pueden durar siglos y provocar problemas de salud al ser humano y daños medioambientales que afectan a los ecosistemas la Tierra (Lee, 2018).

La eliminación de residuos no biodegradables es una preocupación importante, ya que se acumulan una variedad de residuos, por tanto, la gestión de residuos adquiere importancia en vista de los peligros ambientales que plantean. Afortunadamente, hay algunas formas de ayudar en la gestión de residuos no biodegradables y en su eliminación segura para un medio ambiente sostenible (Bharadwaj et al, 2015).

Contextualizando este ensayo los problemas de residuos sólidos son los principales problemas de las empresas mecánicas en los diversos países del globo, por ello, contar con un mecanismo para la reducción del volumen de dichos desechos, adquiere cada vez mayor significado en un escenario internacional que demanda un modo de producción sustentable que respalde los esfuerzos, disposiciones y acuerdos que pone en el centro el derecho de las personas de convivir y desarrollarse en un ambiental natural óptimo, saludable y agradable (Chere et al., 2022).

La gestión de residuos sólidos está relacionada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) definidos en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, siendo incluido tanto explícita como implícitamente en la mayoría de los 17 objetivos (Graziani, 2018). Así también, los países que firmaron el Acuerdo de París, incluido el Ecuador, para lograr el objetivo pactado es importante tener en cuenta, entre otros, la gestión de residuos sólidos y la adopción de medidas de producción y consumo sustentables (Graziani, 2018).

Las cuestiones referentes a la necesidad de promover un desarrollo sustentable en Latinoamérica, cobra relevancia en virtud de la importancia de la contribución que los grupos industriales responsables están realizando para alcanzar los ODS en la región, aunado al hecho de que los

diversos sectores empresariales aportan a la mejora de los estándares sociales de las naciones, donde la empresa mecánica es una pieza fundamental en el entramado productivo y en la cadena de suministro de materiales para otras variadas industrias.

En términos económicos y ambientales el tema de gestionar los residuos de la empresa mecánica es sustancial para alinear las operaciones empresariales de dicho sector con los ODS, el Acuerdo de París y demás convenios mundialmente establecidos para preservar el medioambiente al mismo tiempo que se genera el debido progreso general para toda la población Latinoamericana.

De allí pues, es fundamental acometer todos los esfuerzos posibles para que la producción industrial en el sector mecánico del territorio latinoamericano pueda realizarse bajo los criterios de sustentabilidad, lo cual, sin lugar a dudas redundará en beneficios sociales, económicos y ambientales de todos los países de la zona, particularmente del Ecuador, en el sentido de promover la mejora continua en todos los procesos de la cadena que conforma la industria mecánica.

Hechas las consideraciones precedentes, este estudio tiene como objetivo general describir la gestión de residuos en la industria mecánica, como forma de contribuir a desarrollar y mejorar la conciencia ambiental que sirva para actuar a favor de la protección del medioambiente desde dicho ámbito productivo y de este modo logre evitar el crecimiento de la contaminación por el tipo de residuos que genera y en consecuencia, reportar altos beneficios para los pobladores del Ecuador, la región y el planeta.

## **Desarrollo**

El diseño de máquinas es la actividad más importante en las industrias mecánicas Volland et al, (2003). Desde las tareas más simples hasta los trabajos más peligrosamente complejos, hoy en día casi todo se puede lograr con el uso de una tecnología asociada a la mecanización (Mukherjee, 2022).

Frecuentemente la manufactura de piezas mecánicas requiere de bloques de metales ferrosos en grandes cantidades en diversos sectores de la industria para fabricar automóviles, muebles, artículos eléctricos y mecánicos, piezas de carrocería para consumibles, etc. Durante la etapa de fabricación, los bloques de metal se someten a algún tipo de proceso de eliminación de material, ya sea mediante operaciones de torneado, rectificado, fresado o perforación para obtener el producto final (Punnose et al, 2012). Estos subproductos, si no se reciclan o tratan adecuadamente

antes de su eliminación, tendrán un impacto perjudicial en el medio ambiente a través de la contaminación del aire, el agua y el suelo (Punnose et al, 2012).

La constante invención y mejora de la maquinaria (adelantos técnicos), así como también la innovación tecnológica con el objetivo de aumentar la producción y la productividad, mejorar la calidad del producto y rebajar los costes de producción, ha sido altamente beneficiosa para los diversos sectores económicos que aglutina el área industrial (Oliveras & Saladié, 2012). Sin embargo, también han traído consigo desafíos para la gestión de residuos industriales, pues a menudo, el papel de la contaminación de origen industrial acostumbra a ser severa. En muchos casos las innovaciones en la mejora de los procesos de producción conllevan a la generación de una mayor o menor cantidad de productos residuales (sólidos, líquidos y gaseosos) que contaminan en mayor o menor medida el entorno (aire, aguas y suelos) (Oliveras & Saladié, 2012).

Muchas de estas sustancias tienen el agravante de ser difíciles de degradar por sí solas en la naturaleza, con lo que se acumulan en el medio ambiente, ya sea en el suelo, animales y plantas, y sus daños repercuten durante muchos años; otras al degradarse o unirse con otras producen sustancias más peligrosas (Barrera, 2014). Algunos de estos contaminantes son bioacumulativos, como por ejemplo los metales pesados o los hidrocarburos halogenados. De este modo, tanto las aguas, como los suelos, la vegetación, la fauna y la salud humana se pueden ver afectados por la disposición incontrolada e inadecuada de los productos residuales de la actividad industrial (Oliveras & Saladié, 2012).

Durante la operación de mecanizado, cualquier material o energía generada además del producto final se denomina residuo. Los residuos creados debido al proceso de mecanizado suponen una importante preocupación medioambiental para los fabricantes (Punnose et al, 2012).

Así, las actividades industriales dejan ver su impacto en las denominadas huella material total y huella material. Respecto a la huella material total, es definida como la suma de la huella material de biomasa, minerales metálicos, minerales no metálicos y combustibles fósil (Neme, 2023). Por su lado, la huella material es la medida de la extracción global de materiales a la demanda final interna de un país (Neme, 2023).

La interacción economía-contaminación-cambio climático, se ligan en un contexto de desarrollo global que amerita un cambio de rumbo, en especial, si se considera el estado actual en que encuentran los recursos mundiales y el medio ambiente. En general, los residuos que se generan en los procesos productivos, ponen en riesgo los recursos naturales, dado que tienen importantes

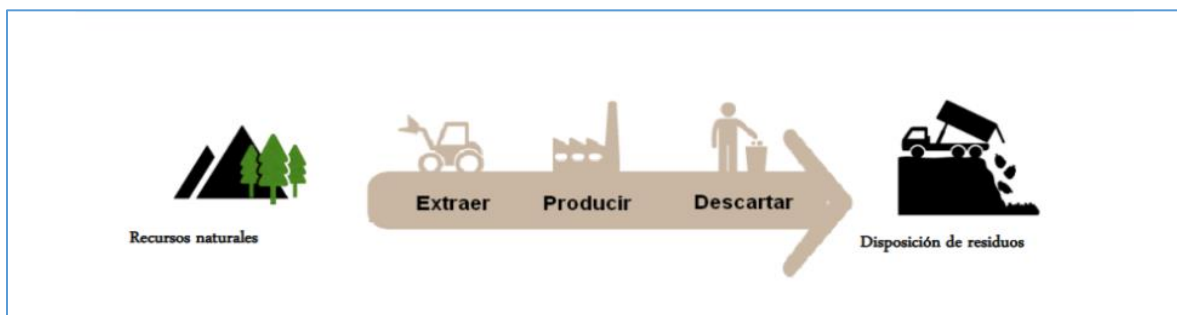
consecuencias en la contaminación del aire, del agua y del suelo, paradójicamente la incorporación de sustancias nocivas al ambiente tiene efectos importantes sobre la economía de los países.

Concretamente, en cuanto a los residuos creados en los procesos productivos, los autores Pérez et al, (2010) consideran que se deben interpretar como un síntoma de ineficacia de un sistema productivo en el que se pierde gran cantidad de materiales que pasan a ser residuos en forma de emisiones, vertidos o desechos. Además, según los referidos autores, se observa la prevalencia de un modelo de producción que genera más residuos en cada una de sus fases (extracción de materias primas, transporte, fabricación, distribución y consumo) que la cantidad de bienes que produce (Pérez et al, 2010).

Este proceso de desarrollo se ha denominado por los entendidos en la materia como Economía Lineal, mismo que pese a estar reconocido como poco cohesionado con los postulados para lograr un desarrollo sostenible Pon, (2019), sigue prevaleciendo como modelo productivo en la mayoría de las industrias al día de hoy, incluyendo el sector de las empresas mecánicas.

Desde hace varios años, las prácticas de producción lineal llevadas a cabo por los diversos sectores industriales, han generado una creciente atención en instancias internacionales, debido al tema medioambiental. La expresión Economía Lineal designa un modelo económico que tiene como principio base el desecho de los productos tras su utilización. De acuerdo con este modelo, casi todos los productos tienen ciclo lineal, que es iniciado con la extracción de las materias primas, el procesamiento y transformación en productos, su distribución y venta, su utilización y, finalmente, su desecho como residuos. Este sistema es como una línea con un principio y un fin (Falappa et al, 2019).

*Figura 1. La economía lineal: modelo insostenible*



*Nota. Fuente: (Pon, 2019)*



En consecuencia, es imperativo reducir la influencia dinámica de este modelo de producción lineal que no cierra los ciclos productivos, como sí hace la naturaleza, en la que no hay residuos ya que todos los materiales se reutilizan y forman parte de nuevos procesos (Pérez et al, 2010).

Alineado con este último señalamiento, diversas son las estrategias que se pueden implementar para asegurar una buena gestión ambiental por parte de la industria mecánica, una de ellas es la economía circular. Se ha evidenciado que contar con sistemas adecuados de gestión de desechos resulta esencial para construir una economía circular, en la que los productos se diseñen y optimicen para ser reutilizados y reciclados (Banco Mundial, 2018). A medida que los Gobiernos nacionales y locales se vuelquen a la economía circular, la incorporación de formas inteligentes y sostenibles de gestionar los desechos ayudará a promover el crecimiento económico eficiente y minimizar el impacto ambiental (Banco Mundial, 2018).

En otra óptica, Khoshsepehr et al, (2023) consideran que, para minimizar los impactos ambientales adversos, los residuos industriales se pueden gestionar eficazmente mediante la implementación de tecnologías inteligentes.

### **Economía circular**

La gestión de residuos ejerce un rol crucial en la economía circular, el objetivo central es encontrar soluciones que proporcionan el mejor resultado medioambiental general. El modo de recoger y gestionar los residuos puede dar lugar a altas tasas de reutilización, recuperación y reciclaje y a que los materiales valiosos vuelvan a la economía (Bustamante, 2021).

De acuerdo con la referida autora, diversas son las ventajas que aporta la gestión de residuos, entre ellas se destacan: a) Ventajas económicas para empresas, como ahorro en costes de producción; b) Creación de empleo en numerosos proyectos e iniciativas; c) Emprendimiento colectivo mutuo, compartiendo conocimientos que ayuden a todos; d) Innovación por la creación de nuevos productos reciclados; e) Mejora en la durabilidad de los productos para una gestión eficiente de residuos; f) Evitar contacto con las grandes acumulaciones de basura; h) Evitar enfermedades por acumulación de basura en ciudades y; i) Ayuda en la contaminación medioambiental (Bustamante, 2021).

Desde esta perspectiva, en los últimos años, la industria ha realizado esfuerzos para mejorar la gestión de residuos a través de una estrategia que haga posible el objetivo de "residuos cero", esto

es, lo que se conoce bajo el concepto de economía circular, que busca mejorar la sostenibilidad ambiental de las operaciones industriales mediante el reciclaje y la reutilización de los residuos generados como materia prima para la producción de otros nuevos productos y al mismo tiempo reduzca su impacto ambiental (Pearl Makhathini et al, 2023). En este entendido, la Organización de las Naciones Unidas Para el Desarrollo Industrial (ONUUDI), apoya la transición de los países en desarrollo del modelo “toma-fabrica-deshecha” a una economía circular (ONUUDI, 2022).

La economía circular (EC), se trata de implementar una nueva economía, circular no lineal, basada en el principio de “cerrar el ciclo de vida” de los productos, los servicios, los residuos, los materiales, el agua y la energía (Samaniego et al, 2022).

Según el Programa de Economía Circular del Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD, por sus siglas en inglés), la economía circular es un modelo económico regenerativo desde su diseño, la meta es conservar el valor de los recursos, productos, piezas y materiales circulantes mediante la creación de un sistema con modelos de negocio innovadores que permitan una prolongada vida útil, y (re) utilización, renovabilidad, reacondicionamiento, remanufactura y reciclaje óptimos (WBCSD, 2020).

Siguiendo la misma orientación Pon, (2019) destaca tres principios del modelo de economía circular: 1. Preservar y mejorar el capital natural; 2. Optimizar el rendimiento de recursos (circulación) y 3. Eficiencia: minimizar fugas y externalidades negativas.

Con la aplicación de los principios de la economía circular, las organizaciones pueden colaborar para eliminar los residuos a partir del diseño, aumentar la productividad de los recursos y mantener el uso de los recursos dentro de los límites planetarios (WBCSD, 2020).

La economía circular describe una nueva forma de producir y consumir, remodelando las cadenas de valor (ONUUDI, 2023) para reducir, reutilizar, reciclar y reparar materiales y productos. Sin olvidar los conceptos de desacoplamiento, reutilización y regeneración. Adoptar los principios de circularidad en la cadena de valor a lo largo de la cadena de producción y suministro puede aumentar la resiliencia empresarial (Dull et al, 2023).

Se entiende la resiliencia como la capacidad de ajustarse fácilmente al cambio, o la capacidad de adaptarse. Las empresas y los gobiernos que adopten una mentalidad circular y la integren en sus estrategias y toma de decisiones serán más resilientes. Aquellos que esperen demasiado, se arriesgan a volverse obsoletos en la economía del mañana (Sijbesma, 2020).

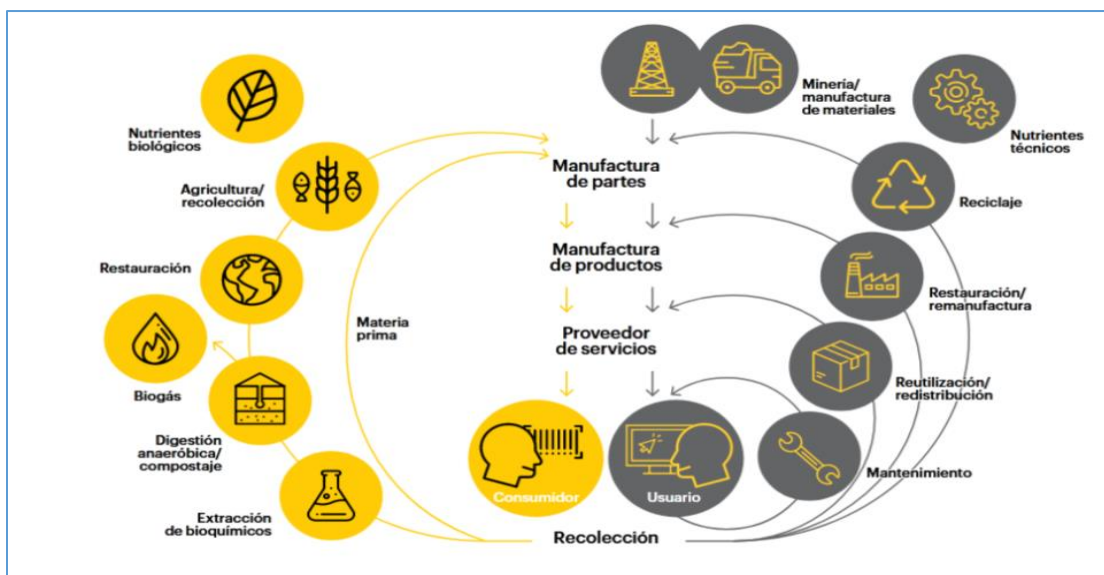
Retomando los principios de la Economía Circular, el primer principio, referido a desacoplar para utilizar menos, claramente observa la necesidad de usar menos material, menos energía y menos agua en los procesos. Formalmente, esto se suele llamar "diseñar los residuos" o "eliminar los residuos y la contaminación". Mientras más alta sea la productividad de material circular, la empresa estará desacoplando de mejor manera el rendimiento financiero del consumo lineal de recursos (WBCSD, 2020). La productividad de material circular, expresa los ingresos generados por unidad de masa de entrada lineal. Se puede calcular de la siguiente manera (WBCSD, 2020):

$$\text{Productividad de material circular} = \frac{\text{Ingresos}}{\text{Masa total de entrada lineal}}$$

El segundo principio, concerniente a la reutilización, se representa a menudo mediante el diagrama de la "mariposa" que muestra los círculos cada vez más pequeños de recursos del reciclado, el reacondicionamiento/la refabricación, la reutilización y, en última instancia, el uso prolongado. Cuanto más pequeño sea el círculo, menor será el esfuerzo (energía, tiempo, horas de trabajo, dinero, recursos) necesario para devolver los materiales a un flujo de valor (Dull et al, 2023).

El porcentaje de tipo de recuperación, se enfoca en la manera en la que el material se recupera y vuelve a circular en la cadena de valor. Los resultados proporcionan un desglose de las porciones de material recuperado que se reutilizan o reparan, se reacondicionan, se remanufacturan, se reciclan, o se biodegradan o compostan (WBCSD, 2020).

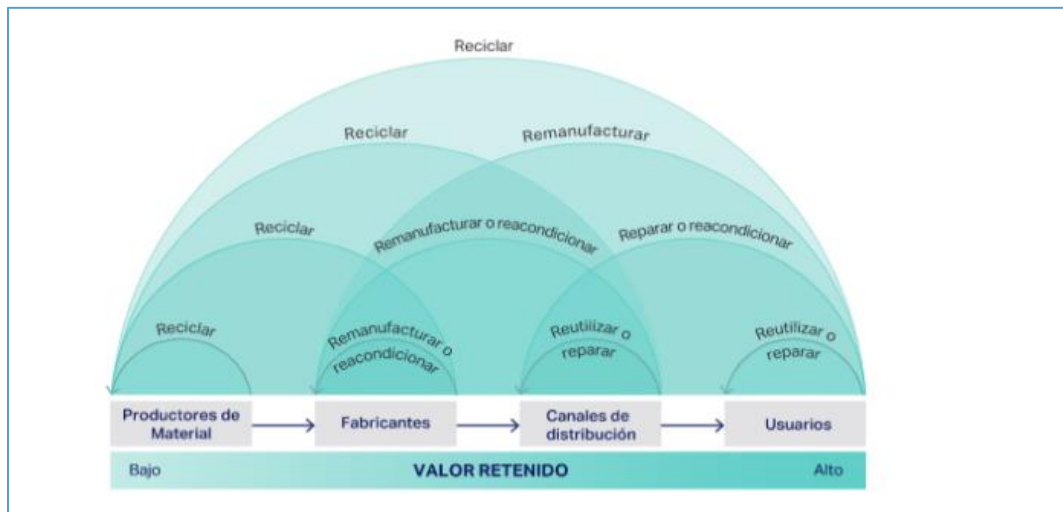
*Figura 2. Diagrama del sistema de la economía circular (Ellen MacArthur Foundation, 2013)*



*Nota. Fuente: (Graziani, 2018)*

El tercer principio comprende la premisa; regenerar para utilizar mejor. Se tiene que reponer los recursos, devolviendo el medio ambiente a un estado mejor del que encontraba. Estos principios deben funcionar conjuntamente para obtener todos los beneficios (Dull et al, 2023).

**Figura 2.** Tipos de recuperación y valor retenido



*Nota. Fuente: (WBCSD, 2020)*

El camino de circularidad de cada empresa es único, pero transitar esas prácticas, es importante y necesaria para cualquier empresa, sin importar su tamaño, sector o posición en la cadena de valor para una producción y un consumo sostenible. Asimismo, la economía circular exige colaboración. La cadena de valor completa debe trabajar en conjunto con el fin de maximizar el valor creado para cada unidad o recurso (WBCSD, 2020).

Diversos países de América Latina vienen acogiendo paulatinamente los principios que demanda la Economía Circular y apartándose cada vez más de las prácticas de la Economía Lineal, aun cuando, según afirma (WBCSD, 2020) hoy en día, el mundo es circular en un 9 %, no solo está claro que esto no es sostenible, sino que también está creciendo la urgencia de alejarse del modelo económico de tomar, hacer, desechar. La buena noticia es que la oportunidad de mejora está en un 91 %. De este modo, Ecuador ha elaborado el Libro Blanco de Economía Circular, el cual está enfocado en la creación de una Producción Sostenible, un Consumo Responsable, y una Gestión Integral de los Residuos Sólidos en el país. El eje de Producción Sostenible en particular se divide

en diez (10) sectores, siete de los cuales son subsectores de manufactura y comercio (Samaniego et al, 2022).

### **Tecnologías inteligentes para la gestión de residuos industriales**

La evolución tecnológica hoy en día, constituye una herramienta fundamental para coadyuvar en la creciente desaceleración de las cantidades de residuos producidas por los sectores industriales, incluida la industria metálica. En este sentido, afirma, (ISWA, 2021) la percepción es que esta década será el periodo en el que los avances tecnológicos se convertirán en la corriente principal y cambiarán profundamente la industria de los residuos. En claro apoyo a la transición hacia economías circulares y bajas en carbono y el cambio climático está en la agenda, no solo para el sector de los residuos, sino como una cuestión prioritaria para todos los sectores y empresas.

La industria 4.0 juega un papel importante sobre la gestión de residuos, ya que gracias a las nuevas tecnologías como por ejemplo los sensores de energía, muchas industrias tendrán la posibilidad de seguir de cerca todo el proceso de producción (Bustamante, 2021). Cuando se combinan con los sistemas tradicionales de gestión de residuos existentes, las TIC pueden ayudar a resolver los problemas de gestión de residuos (Jatinkumar Shah et al, 2018).

Por ejemplo, en el sector empresarial las tecnologías de Internet de las cosas (IoT) han demostrado su capacidad no solo para optimizar la producción, sino también para reducir la producción general de residuos (Solovyova, 2022). El auge de la Internet de las cosas (IoT) potenciado por la Inteligencia Artificial (IA), ofrece prácticas eficaces de gestión de residuos mediante la selección, trámites y análisis de datos que pueden ayudar a las organizaciones a favorecer operaciones más resilientes e implementar el crecimiento y desarrollo sostenible (Saquicela et al, 2022). Estas tecnologías permiten automatizar, optimizar y comprender todo el proceso de gestión de residuos de forma diferente. Esto significa que las empresas tienen un incentivo para implementar estas tecnologías porque pueden utilizarlas para producir menos basura y desperdiciar menos dinero (Solovyova, 2022).

La Big Data, la Inteligencia Artificial (IA), el Internet de las cosas (IoT) el aprendizaje automático (ML) pueden proporcionar a través de los algoritmos análisis avanzados para una comprensión más profunda en el reconocimiento de imágenes para automatizar algunos de los procesos de segregación de residuos (Cheah et al, 2022). Los fabricantes a gran escala pueden utilizar los datos obtenidos a través de IoT para obtener una imagen más clara de cómo se utilizan sus productos y

realizar un seguimiento de los patrones de eliminación para fomentar diseños futuros para una economía verdaderamente circular (Cheah et al, 2022).

La inteligencia artificial proporciona numerosas ventajas en la gestión de residuos, entre ellas optimizar las rutas de recolección, aumentar las tasas de reciclaje y recortando gastos en la gestión de residuos (El-Sayad & El-Shekheby, 2023). El uso de ML en la industria puede reducir la incertidumbre en la producción, lo que puede conducir a un mejor servicio al cliente, mayor rentabilidad y reducción de residuos y emisiones de dióxido de carbono (Garre et al, 2020).

Los administradores de la industria deberían emplear tecnologías inteligentes específicas para eliminar y reciclar los residuos industriales. Este enfoque puede prevenir la pérdida de materias primas y proteger el medio ambiente de diversos tipos de residuos (Khoshsepehr et al, 2023). Las tecnologías inteligentes pueden ayudar a sustituir los sistemas tradicionales de gestión de residuos por nuevos sistemas equipados con sensores inteligentes y proporcionar un mecanismo de supervisión en tiempo real y una estructura de gestión más avanzada (Khoshsepehr et al, 2023).

Las soluciones modernas no se centran sólo en los aspectos tecnológicos de la gestión de residuos sino también en los sociológicos. Gracias a Internet y las plataformas de redes sociales, los científicos pueden influir en la conciencia ecológica a una escala mucho mayor (Czekała et al, 2023). El uso de tecnologías inteligentes (ya sea en combinación o por separado en algunos casos) en la gestión de residuos industriales puede mejorar las operaciones de eliminación o reciclaje. Sin embargo, si estas tecnologías se implementan en organizaciones sin planes formulados específica y científicamente y sin considerar los tipos de desechos, no serán útiles e incluso pueden imponer enormes costos a las organizaciones (Arifatul et al, 2020).

Como se observa, las tecnologías de la industria 4.0 ofrecen amplias ventajas para la gestión de residuos industriales. Los países latinoamericanos se encuentran aún en una etapa de desarrollo incipiente para integrar el portafolio tecnológico del internet de las cosas, big data, la nube, los sistemas ciberfísicos entre otros, debido a la falta de inversión ya que las empresas no invierten en tecnología para realizar productos inteligentes si no que invierten en mejorar procesos o rediseñar maquinas existentes lo que atrasa cada día más la implementación de estas tecnologías avanzadas (Peña & Palacio, 2018).

Aunque existen algunos esfuerzos y proyectos pilotos en varios países de la región para gestión de residuos municipales y urbanos, aún existe una brecha considerable que cerrar, si se compara con

las iniciativas impulsadas Europa y en otras partes del orbe, para lograr ofrecer mejores experiencias de la gestión de residuos industriales en la región.

De ahí, Albaladejo & Alonso, (2023) enfatizan, en América Latina, el tratamiento eficiente de los residuos debería ser un área de máxima prioridad en el corto plazo para avanzar en la transición a la economía circular que aspira a lograr un mundo sin residuos. Un paso importante para lograr dicho propósito consiste en superar factores como debilidad de las instituciones, la ausencia de un marco normativo, la escasez de asociaciones público-privadas, los bajos niveles de concienciación medioambiental, entre otros (Albaladejo & Alonso, 2023).

## Conclusiones

Los materiales desechados en los procesos industriales, particularmente, en la industria mecánica, por el gran volumen que genera, por su impacto al medio ambiente, porque pueden ser reciclados y reutilizados, porque lo exige la legislación nacional, el acuerdo de París y para alcanzar los ODS, deben tener una correcta gestión en consonancia con los postulados de desarrollo sostenible para la preservación de los ecosistemas terrestres y garantizar una mejor calidad de vida para todos los ciudadanos tanto a nivel local como regional y mundial.

La búsqueda de soluciones al problema que representa la gestión más eficaz de los residuos industriales a escala local, regional y mundial, está aprovechando, a la par de las tecnologías tradicionales, la evolución de la tecnología 4.0 para la puesta en marcha de diversas iniciativas, planes y proyectos orientados a la transición de una economía lineal a la economía circular, con miras a lograr un entorno sin residuos, más limpio, sano aunado a un mejor aprovechamiento de los recursos naturales.

Las experiencias mundiales dan cuenta que mediante tecnologías IoT, IA, Big Data, ML entre otras, puede mejorarse sustancialmente la gestión de los residuos industriales, los cuales pueden reciclarse, reutilizarse, remanufacturarse, reacondicionarse, desacoplarse, como acciones conducentes a la circularidad para una producción y un consumo sostenible, en todos los sectores empresariales y especialmente en la industria mecánica.

Aunque en América Latina existen experiencias para aprovechar la tecnología 4.0 para la gestión eficiente de residuos, sin embargo, no serán suficientes, si antes no superan las variadas dificultades (debilidad institucional marco normativo, conciencia ambiental u otros) que suponen un obstáculo

para aprovechar las inmensas potencialidades que reportan las tecnologías inteligentes para la gestión de residuos en la industria, sobre todo en el sector de la industria mecánica.

## Referencias

1. Albaladejo, M., & Alonso Ribas, P. (2023). Digitalizarse para acelerar la economía circular. *Boletín Industrial Analytics Plataform (IAP)*.  
<https://iap.unido.org/es/articles/digitalizarse-para-acelerar-la-economia-circular>.
2. Arifatul Fatimah, Y., Govindan, K., Murniningsih, R., & Setiawan, A. (2020). Industry 4.0 based sustainable circular economy approach for smart waste management system to achieve sustainable development goals: A case study of Indonesia. *Journal of Cleaner Production*; Volume 269, 122263. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122263>.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620323106>.
3. Banco Mundial. (2018). Informe del Banco Mundial: Los desechos a nivel mundial crecerán un 70 % para 2050, a menos que se adopten medidas urgentes.  
<https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report>.
4. Barrera Trujillo, V. (2014). UF0288: Caracterización de residuos industriales. España: Editorial Elearning. S.L. ISBN: 978-84-16102-61-7.  
[https://www.editorialelearning.com/catalogo/media/iverve/uploadpdf/1525959315\\_UF0288\\_demo.pdf](https://www.editorialelearning.com/catalogo/media/iverve/uploadpdf/1525959315_UF0288_demo.pdf).
5. Bharadwaj, A., Yadav, D., & Varshney, S. (2015). Non-Biodegradable Waste – Its Impact & Safe Disposal. *International Journal of Avanced Technology in Engineering and Science*; Vol. 3. Special Issue Nro. 01.  
[https://www.researchgate.net/publication/301283637\\_NON-BIODEGRADABLE\\_WASTE\\_-\\_ITS\\_IMPACT\\_SAFE\\_DISPOSAL](https://www.researchgate.net/publication/301283637_NON-BIODEGRADABLE_WASTE_-_ITS_IMPACT_SAFE_DISPOSAL), pp.184-191.
6. Bustamante, V. (2021). Oportunidades Tecnológicas de la Industria 4.0 en el Sector Empresarial de la Economía Circular. Universidad de Cantabria. Trabajo de Fin de Grado.  
[https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/23109/Bustamante\\_Lopez-Ver%C3%B3nica.pdf?sequence=1](https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/23109/Bustamante_Lopez-Ver%C3%B3nica.pdf?sequence=1), pp.25.
7. Chere-Quiñónez, B. F., Ulloa-de Souza, R. C., Reyna-Tenorio, L. J., Canchingre-Bone, M. E., & Mosquera-Quintero, G. A. (2022). Energía eléctrica a partir de aguas residuales



- industriales en Guayaquil, Ecuador. *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*, 3(6), 202-210.
8. Chere-Quiñónez, B. F. (2017). Significados de la responsabilidad social en la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento. *Revista Científica FIPCAEC (Fomento de la investigación y publicación científico-técnica multidisciplinaria)*. ISSN: 2588-090X. *Polo de Capacitación, Investigación y Publicación (POCAIP)*, 2(5), 33-61.
  9. Cheah, C., Yi Chia, W., Fen Lai, S., Wayne Chew, K., Reen Chia, S., & Loke Show, P. (2022). Innovation designs of industry 4.0 based solid waste management: Machinery and digital circular economy. *Environmental Research*; Volume 213, 113619.  
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113619>.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S001393512200946X>.
  10. Czekala, W., Drozdowski, J., & Łabiak, P. (2023). Modern Technologies for Waste Management: A Review. *Appl. Sci*;13(15), 8847; <https://doi.org/10.3390/app13158847>.  
<https://www.mdpi.com/2076-3417/13/15/8847>.
  11. Dull, D., Vegter, D., & Norman, L. (2023). Los principios olvidados de la economía circular. Un estudio de caso sobre cómo integrar los conceptos de circularidad en la producción y la cadena de suministro. ODS 9/ONUDI/Plataforma de Análisis Industrial (IAP). <https://ods9.org/resource/1010/los-principios-olvidados-de-la-economia-circular>.
  12. El-Sayad, N., & El-Shekheby, S. (2023). Sustainable Waste Management through the Lens of Artificial Intelligence: An In-Depth Review. *Journal of Engineering Research (ERJ)*; Vol. 7 – No. 5. Doi: 10.21608/erjeng.2023.242796.1281.  
[https://erjeng.journals.ekb.eg/article\\_325114\\_ecde7073a3d9ccd1f12ead0fd2f8bb7d.pdf](https://erjeng.journals.ekb.eg/article_325114_ecde7073a3d9ccd1f12ead0fd2f8bb7d.pdf), pp.195-201.
  13. Falappa, M., Lamy, M., & Vasquez, M. (2019). De una Economía Lineal a una Circular, en el siglo XXI. Análisis realizado en la sociedad mendocina, 2019. Universidad Nacional del Cuyo. Mendoza. Perú. [https://bdigital.uncuyo.edu.ar/objetos\\_digitales/14316/falappa-fce.pdf](https://bdigital.uncuyo.edu.ar/objetos_digitales/14316/falappa-fce.pdf), pp.44.
  14. Garre, A., Ruiz, M., & Hontoria, E. (2020). Application of Machine Learning to support production planning of a food industry in the context of waste generation under uncertainty. *Operations Research Perspectives*, 7, [100147].  
<https://doi.org/10.1016/j.orp.2020.100147>.

15. Graziani, P. (2018). Economía circular e innovación tecnológica en residuos sólidos: Oportunidades en América Latina. Buenos Aires. Argentina: Banco de Desarrollo de América Latina (CAF). Pág. 92. <https://cdi.mecon.gob.ar/bases/docelec/az4041.pdf>.
16. ISWA. (2021). El futuro del sector de la gestión de residuos. Tendencias, oportunidades y objetivos para la década. Asociación Internacional de Residuos Sólidos (ISWA). <https://www.iswa.org/wp-content/uploads/2022/02/ISWA-2021e-Future-of-the-Waste-Management-Sector-Spanish.pdf>, pp.28.
17. Jatinkumar Shah, P., Anagnostopoulos, T., Zaslavsky, A., & Behdad, S. (2018). A stochastic optimization framework for planning of waste collection and value recovery operations in smart and sustainable cities. *Waste Management*; Volume 78, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.05.019>.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X18303143>, pp.104-114.
18. Khoshsepehr, Z., Alinejad, S., & Alimohammadlou, M. (2023). Exploring industrial waste management challenges and smart solutions: An integrated hesitant fuzzy multi-criteria decision-making approach. *Journal of Cleaner Production*; Volume 420, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138327>.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965262302485X>.
19. Lee, K. (2018). What Are the Effects of Non-Biodegradable Waste? *Sciencing*. <https://sciencing.com/effects-nonbiodegradable-waste-8452084.html>.
20. Millati, R., Bakti, R., Ariyanto, T., Nafi, I., Utami, R., & Taherzadeh, M. (2019). Chapter 1 - Agricultural, Industrial, Municipal, and Forest Wastes: An Overview. *Sustainable Resource Recovery and Zero Waste Approaches*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64200-4.00001-3>.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780444642004000013>, pp.1-22.
21. Morán Palacios, P. (2012). Metodología Para la Optimización de la Eficiencia en el Tratamiento y Gestión de Residuos Industriales. Universidad de Oviedo. Tesis Doctoral. <https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/17333/TDMoranPalacios.pdf?sequence=2&isAllowed=y>, pp.254.
22. Mukherjee, A. (2022). Role of mechanical engineers in society. <https://timesofindia.indiatimes.com/blogs/voices/role-of-mechanical-engineers-in-society/>.

23. Naciones Unidas. (2022). La Tierra se enfrenta a una triple crisis planetaria. Centro Regional de Información de las Naciones Unidas. <https://unric.org/es/la-tierra-se-enfrenta-a-una-triple-crisis-planetaria/>.
24. Neme, J. (2023). Indicador 8.4.1/12.2.1: Huella material, huella material per cápita y huella material por PIB. UN Environment Programme. Panamá. [https://www.cepal.org/sites/default/files/presentations/pnuma-revision-indicador-ods-12\\_2\\_1.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/presentations/pnuma-revision-indicador-ods-12_2_1.pdf), pp.1-19.
25. Oliveras, J., & Saladié, O. (2012). Módulos Universitarios en ciencia del Desarrollo Sostenible (MOUDS). Universidad Rovira i Virgili. España. <http://www.desenvolupamentsostenible.org/es/>.
26. ONUDI. (2022). Informe Anual 2021. Organización de las Naciones Unidas Para el Desarrollo Industrial (ONUDI). Viena. [https://downloads.unido.org/ot/26/41/26410113/22-01328\\_AR2021\\_ebook\\_S.pdf](https://downloads.unido.org/ot/26/41/26410113/22-01328_AR2021_ebook_S.pdf), pp.110.
27. ONUDI. (2023). Assessing the Socio-Economic Impact of the Circular Economy through input-output modelling: Evidence from developing countries. Organización de las Naciones Unidas Para el Desarrollo Industrial (ONUDI),Vienna. [https://downloads.unido.org/ot/29/15/29151440/WP\\_01\\_2023.pdf](https://downloads.unido.org/ot/29/15/29151440/WP_01_2023.pdf), pp.62.
28. Pearl Makhathini, T., Kapuku, J., & Mtsweni, S. (2023). Various Options for Mining and Metallurgical Waste in the Circular Economy: A Review. *Sustainability*; 15(3), 2518; <https://doi.org/10.3390/su15032518>. <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/3/2518>.
29. Peña, O., & Palacio, G. (2018). Impacto de las nuevas tecnologías de “industry 4.0” en Colombia. *Revista Loginn*, Volumen 2, Número 2. [https://www.academia.edu/75260973/Impacto\\_de\\_las\\_nuevas\\_tecnolog%C3%ADas\\_de\\_industry\\_4\\_0\\_en\\_Colombia](https://www.academia.edu/75260973/Impacto_de_las_nuevas_tecnolog%C3%ADas_de_industry_4_0_en_Colombia), pp.113-121.
30. Pérez Gómez, J., Rabach, S., Hernández, E., Olano Goena, J., & Olano Goena, I. (2010). Guía para la intervención de los trabajadores. Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS). Pág. 91. [https://www.academia.edu/6587616/Gesti%C3%B3n\\_de\\_residuos\\_industriales?uc-g-sw=90130807](https://www.academia.edu/6587616/Gesti%C3%B3n_de_residuos_industriales?uc-g-sw=90130807).
31. Pon, J. (2019). Taller Regional: Instrumentos para la implementación efectiva y coherente

- de la dimensión ambiental de la agenda de desarrollo. Caso 4: RESIDUOS. Organización de las Naciones Unidas (ONU) Medio Ambiente. América Latina y el Caribe. an José, Costa Rica. [https://www.cepal.org/sites/default/files/presentations/gestion\\_de\\_residuos\\_-\\_jordi\\_pon.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/presentations/gestion_de_residuos_-_jordi_pon.pdf), pp.102.
32. Punnose, K., Mohd Razif, I., Masjuki Haji, H., & Tengku Fazli, T. (2012). A study conducted on the impact of effluent waste from machining process on the environment by water analysis. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*; Volume 3, article number 21, <https://link.springer.com/article/10.1186/2251-6832-3-21>.
  33. Saquicela, J. L. S.-., Heredia, J. R. B.-., Heredia, M. A. M.-., Salinas, L. D. R. de L. A., Fernández, R. E. C., Parra, M. Ángel V., Burgos, J. G. C., Acurio, J. A. G., Mina, M. G. G. C., & Quiñónez, B. F. C. (2022). Diseño de un sistema de monitorización de la calidad de aire, basado en una red sensorial y técnicas de IOT para la ciudad de Esmeraldas / Projeto de um sistema de monitoramento da qualidade do ar baseado em uma rede de sensores e técnicas IOT para a cidade de Esmeraldas. *Brazilian Applied Science Review*, 6(2), 692–730. <https://doi.org/10.34115/basrv6n2-020>
  34. Samaniego, J., Rondón, E., Herrera, J., & Santori, S. (2022). Panorama de las hojas de ruta de economía circular en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Naciones Unidas, Santiago. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/037778b3-04da-4351-a558-3dded786ab50/content>, pp.88.
  35. Shahbaz, M., Rashid, N., Saleem, J., Mackey, H., Mckay, G., & Al-Ansari, T. (2023). A review of waste management approaches to maximise sustainable value of waste from the oil and gas industry and potential for the State of Qatar. *Fuel*; Volume 332, Part 2, 126220. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126220>.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236122030447>.
  36. Sijbesma, F. (2020). Introducción. En WBCSD, *Indicadores de Transición Circular* (pág. pp.52). Ginebra, Suiza: Programa de Economía Circular del Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD).  
<https://www.wbcd.org/contentwbc/download/11123/164399/1>.
  37. Solovyova, V. (2022). How Various Industries Approach Smart Waste Management. <https://www.ietfforall.com/how-various-industries-approach-smart-waste-management>.

38. Volland, G., Erisman, R., & Hindhede, U. (2003). Machine Design. Encyclopedia of Physical Science and Technology (Third Edition). <https://doi.org/10.1016/B0-12-227410-5/00391-4>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B0122274105003914>, pp.839-856.
39. WBCSD. (2020). Indicadores de Transición Circular V1.0. Metricas para empresas, realizadas por empresas. Ginebra, Suiza: Programa de Economía Circular del Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD). Pág. 52. <https://www.wbcsd.org/contentwbc/download/11123/164399/1>.

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).