



Reciclando Indicadores



SUMARIO

DIRECTOR ISDE
IDAEL LA O FLO

REDACCIÓN
SARAI ORTA PUGA

DISEÑO Y REALIZACIÓN
ONIEL S. GUTIÉRREZ REYES

WEBMASTER
ISNEY SUSANA HERRERA HERNÁNDEZ
ONIEL S. GUTIÉRREZ REYES

CONTACTOS
Empresa de Ingeniería del Reciclaje
Calle Zapata #1558 e/ Paseo y 2. Vedado.
Plaza de la Revolución. Cuba
observatorio@isde.co.cu
observatorio.reciclaje.cu

**Cómo medir el
potencial real de los
residuos
reciclables**

03

06

**Claves para medir el
progreso real hacia
la sostenibilidad**

**Potenciales de
Generación de residuos
sólidos en cuba.
Un análisis integral**

09

12

**Aplicaciones,
limitaciones y
perspectivas para la
economía circular**

**Métricas de
Circularidad.
Una evaluación
crítica**

16

Cómo medir el potencial real de los residuos reciclables



¿Sabemos realmente cuánto valor se esconde en los residuos que generamos a diario? En un mundo donde la economía circular se posiciona como motor de sostenibilidad y competitividad, medir el potencial de los residuos reciclables es esencial para transformar desechos en recursos y avanzar hacia modelos productivos más responsables. Este artículo explora las métricas clave para evaluar el potencial real de los residuos reciclables y cómo su correcta medición impulsa la economía circular, aportando beneficios económicos, ambientales y sociales.

El papel de las métricas en la economía circular
La economía circular propone cerrar los ciclos de materiales, evitando el desperdicio y maximizando el valor de los recursos a lo largo de su vida útil. Para que este modelo sea efectivo, es imprescindible contar con indicadores que permitan cuantificar y monitorear el flujo de materiales, la eficiencia de los procesos y el impacto de las estrategias implementadas.

Sin datos fiables y comparables, resulta im-

sible identificar oportunidades de mejora, justificar inversiones o demostrar resultados ante reguladores, consumidores e inversores. Medir el potencial de los residuos reciclables es esencial para ello, se utilizan diversas métricas que permiten evaluar la cantidad, calidad y eficiencia en la recuperación de materiales reciclables. A continuación, se describen las principales métricas aplicables a todos los productos reciclables. Principales métricas para medir el potencial de los residuos reciclables

1. Tasa de reciclaje

La tasa de reciclaje es el porcentaje de materiales reciclados respecto al total de residuos generados. Se calcula como:

$$\text{Tasa de reciclaje} = (\text{Peso total de materiales reciclados} / \text{Peso total de residuos generados}) \times 100$$

Una tasa elevada indica una gestión eficiente y una mayor recuperación de materiales valiosos, clave para reducir la presión sobre los recursos naturales.

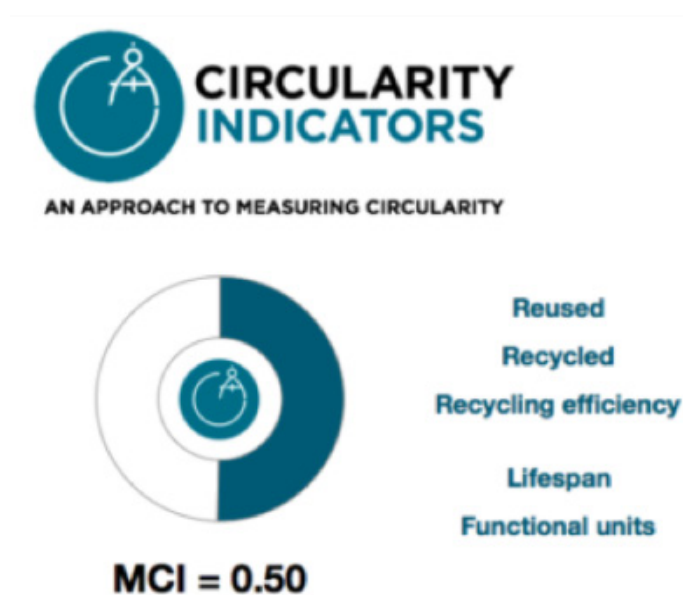
2. Tasa de desvío de vertederos

Este indicador mide el porcentaje de residuos que, gracias al reciclaje y otras prácticas de valorización, se desvían de los vertederos:

Tasa de desvío de vertederos= (Peso total de residuos desviados de vertederos /Peso total de residuos generados) ×100

Una tasa alta refleja el éxito en la reducción del impacto ambiental y la contribución a la economía circular.

3. Eficiencia de clasificación y calidad del material reciclado



La precisión en la clasificación de residuos es fundamental para garantizar la calidad de los materiales reciclados. Tecnologías avanzadas permiten alcanzar precisiones del 92% al 95% en la separación de plásticos, por ejemplo, lo que asegura materias primas secundarias de alto valor para la industria. Además, una baja tasa de defectos (menos del 3% en productos reciclados) es señal de procesos robustos y rentables.

4. Tasa de recuperación y valorización

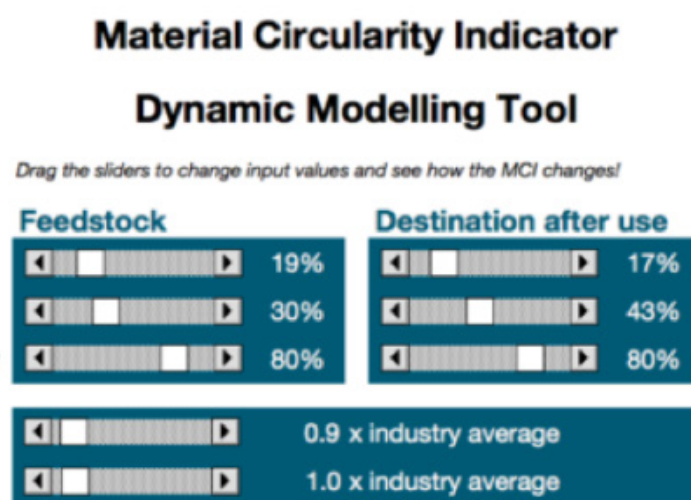
Este indicador mide el porcentaje de residuos o embalajes recuperados y valorizados respecto al total generado. Incluye tanto materiales reciclados como aquellos destinados a procesos de valorización energética o compostaje.

5. Indicadores de circularidad de materiales

Herramientas como el Material Circularity Indicator (MCI) permiten evaluar la proporción de materiales reciclados utilizados en un producto y su potencial de ser reciclado o reutilizado al final de su vida útil. Estos indicadores ofrecen una visión más integral sobre el ciclo de vida de los materiales y la sostenibilidad de los productos.

6. Impacto ambiental evitado

La cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) evitadas gracias al reciclaje



es otro indicador clave, ya que permite medir el beneficio ambiental directo de las operaciones circulares. Asimismo, el ahorro de recursos naturales y energía refuerza la justificación de las estrategias de reciclaje.

7. Métricas de desempeño económico y social

No solo se trata de medir toneladas recicladas. Indicadores como los ingresos generados por materiales reciclados, la eficiencia operativa, el cumplimiento regulatorio, la creación de empleo verde y la participación comunitaria completan la visión sobre el impacto de la gestión circular de residuos.

El impacto de las métricas en la economía circular

La implementación de métricas claras y adaptadas a la economía circular tiene múltiples efectos positivos:

-Toma de decisiones informada: Permite identificar cuellos de botella, optimizar procesos y priorizar inversiones en tecnologías o alianzas estratégicas.

-Transparencia y confianza: La publicación de indicadores de desempeño refuerza la credibilidad ante clientes, inversores y autoridades, y motiva a otros actores del mercado a adoptar prácticas similares.

-Cumplimiento normativo y acceso a incentivos: Facilita la adaptación a regulaciones ambientales cada vez más exigentes y la obtención de certificaciones o incentivos vinculados a la sostenibilidad.

-Generación de valor económico y social: Al medir y comunicar los beneficios económicos, sociales y ambientales, las organizaciones pueden

demostrar su contribución a la economía circular y a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Medir el potencial real de los residuos reciclables es mucho más que una cuestión técnica: es una herramienta estratégica para acelerar la transición hacia una economía circular. La adopción de métricas precisas, relevantes y transpa-

rentes permite maximizar la recuperación de recursos, reducir el impacto ambiental y crear valor compartido. En un contexto global donde la sostenibilidad es un imperativo, las métricas se con-

vierten en el lenguaje común para transformar residuos en oportunidades y construir un futuro más circular y resiliente.

“Sin datos, no hay gestión. Sin gestión, no hay circularidad.”

— Adaptado de Peter Drucker

¿Está su organización midiendo lo que realmente importa para avanzar en la economía circular? El momento de actuar es ahora.

“

...Sin datos, no hay gestión. Sin gestión, no hay circularidad...

”



Una manera eficiente de gestionar tus residuos



Si tienes residuos en casa o en tu centro de trabajo y no sabes que hacer con ellos o no tienes tiempo. Reciklando es la solución. Nos encargamos de tus residuos y te ofrecemos un pago por ello.



<http://reciklando.reciclaje.eu>



<https://apklis.eu/application/com.isde.reciklando>

Claves para Medir el Progreso Real hacia la Sostenibilidad



En el contexto actual de crisis climática y agotamiento de recursos, la economía circular se posiciona como un paradigma imprescindible para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Sin embargo, la transición de modelos lineales a circulares sólo será efectiva si existe una medición rigurosa, transparente y comparable de los avances. ¿Cómo saber si realmente estamos cerrando el círculo? Este artículo analiza los principales tipos de métricas, los desafíos críticos de su aplicación y las soluciones emergentes, con especial foco en el sector del reciclaje y la recuperación de materiales.

1. Tipologías de Métricas en Economía Circular

La medición de la circularidad se articula en torno a tres grandes enfoques, cada uno con aplicaciones, ventajas y limitaciones específicas:

-Métricas basadas en materiales

Estas métricas cuantifican el flujo y la recuperación de materiales, siendo la tasa de reciclaje (%) y el Índice de Circularidad de Materiales (MCI) los ejemplos más representativos. Si bien permiten monitorear el porcentaje de materiales reciclados o reutilizados, presentan limitaciones notables: suelen omitir los impactos

energéticos asociados al reciclaje, como ocurre en procesos químicos con alta huella de carbono.

-Métricas basadas en productos

Evalúan atributos como la durabilidad, la reparabilidad y la reciclabilidad de los productos. El Índice de Reparabilidad, implementado en la Unión Europea desde 2021, y las etiquetas de circularidad en el sector textil, son ejemplos destacados. Estas métricas facilitan la identificación de oportunidades de ecodiseño y prolongación del ciclo de vida de los productos, aspectos clave para la reducción de residuos y el aprovechamiento eficiente de recursos.

-Métricas sistémicas

Integran dimensiones ambientales, económicas y sociales, permitiendo una visión holística de la circularidad. Herramientas como el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) combinado



con indicadores de circularidad, o el Índice de Circularidad de Ciudades (CCI), posibilitan evaluar el desempeño circular a nivel organizacional, sectorial o territorial. Este enfoque es fundamental para vincular la medición con los ODS, en particular los objetivos 12 (Producción y Consumo Responsables) y 13 (Acción por el Clima).

2. Desafíos Críticos en la Medición de la Circularidad

La adopción de métricas de economía circular enfrenta obstáculos estructurales que condicionan su efectividad y credibilidad:

-Greenwashing y superficialidad

El término greenwashing describe una estrategia de comunicación engañosa mediante la cual empresas, organizaciones o productos se presentan públicamente como respetuosos con el medio ambiente sin que exista un respaldo real en sus acciones o procesos internos. El origen de la palabra combina “green” (verde, asociado a lo ecológico) y “whitewashing” (blanquear o encubrir), y se remonta a la década de 1980, cuando comenzaron a proliferar campañas publicitarias que exageraban los esfuerzos ambientales de las compañías, sin evidencias concretas de sostenibilidad. Según el Reglamento (UE) 2020/852, el greenwashing implica obtener una ventaja competitiva desleal al comercializar productos o servicios como ecológicos, cuando en realidad no cumplen con los requisitos ambientales mínimos. Esta práctica puede tomar la forma de etiquetas ambiguas (“100% reciclable” sin infraestructura real de reciclaje), afirmaciones vagas o el uso de imágenes y mensajes que sugieren un compromiso ambiental inexistente. El greenwashing representa un riesgo significativo: confunde a los consumidores, dificulta la toma de decisiones informadas y retrasa el avance hacia una economía verdaderamente

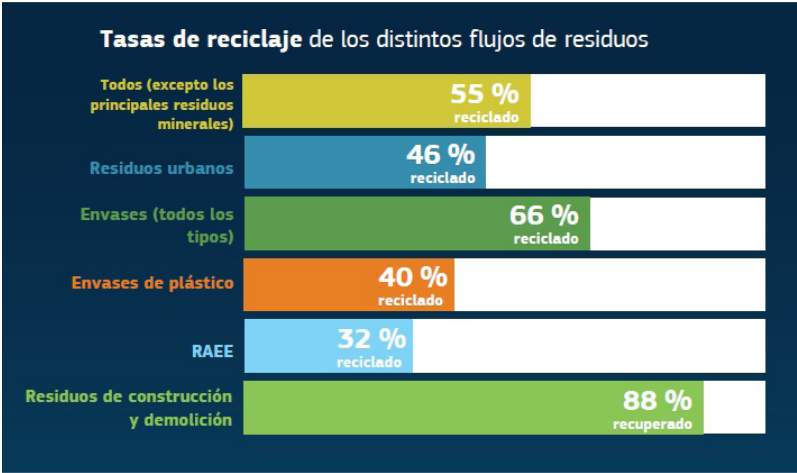
sostenible.

-Falta de estandarización internacional

La ausencia de marcos normativos globales dificulta la comparación y el seguimiento del progreso. Según datos recientes, apenas el 8,6% de la economía mundial puede considerarse circular, en parte debido a la dispersión de criterios y metodologías.

-Insuficiente integración de aspectos sociales

Sólo el 12% de las métricas actuales incorpora indicadores de equidad laboral o impacto social, según el Wuppertal Institute (2024). Esta omisión limita la capacidad de las métricas para reflejar la verdadera sostenibilidad de los sistemas pro-



ductivos y de gestión de residuos.

-Desafíos en economías emergentes

La informalidad y la escasez de datos robustos dificultan la medición en contextos donde el reciclaje informal es predominante, subrayando la necesidad de métricas adaptadas a realidades locales.

3. Soluciones Emergentes y Buenas Prácticas

Frente a estos retos, diversos actores están impulsando soluciones normativas, tecnológicas y sectoriales que buscan profesionalizar y armonizar la medición de la circularidad:

Armonización normativa: ISO 59020 y la familia ISO 59000

Las normas ISO (International Organization for Standardization) constituyen estándares internacionales desarrollados para promover la calidad, la transparencia y la armonización de prácticas en diversos sectores. En el ámbito de la economía circular, la familia de normas ISO 59000 representa un hito reciente y fundamental para la medición, implementación y comunicación de la circularidad a nivel global.

Las normas ISO 59004, ISO 59010 e ISO 59020 fueron publicadas oficialmente el 22 de mayo

de 2024, tras más de cuatro años de trabajo colaborativo entre expertos de más de 70 países y 200 profesionales del sector. El desarrollo y la aprobación de estas normas han contado con la participación y el consenso de 75 países, lo que garantiza su aplicabilidad y reconocimiento internacional.

- **ISO 59004:** Define la terminología, los principios y proporciona una guía para la implementación de la economía circular. Es la base conceptual y estratégica para organizaciones de cualquier tamaño o sector que deseen alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).
- **ISO 59010:** Ofrece directrices para la transición de modelos de negocio y redes de valor, facilitando la migración de procesos lineales a circulares y promoviendo la innovación y la resiliencia empresarial.
- **ISO 59020:** Establece los requisitos y metodologías para medir y evaluar el desempeño de la circularidad, incluyendo la selección de indicadores, la recopilación de datos y la interpretación de resultados. Su objetivo es estandarizar la medición y asegurar resultados transparentes y verificables.

Aunque las normas ISO no son obligatorias por sí mismas, su adopción está siendo promovida activamente en regiones como la Unión Europea, América Latina y Asia, tanto por organismos públicos como por empresas privadas y asociaciones sectoriales que buscan mejorar su desempeño circular y alinearse con los estándares globales.

-Enfoques sectoriales y casos de éxito

Iniciativas como Make Fashion Circular en la industria textil, o Material Passport en construcción (Países Bajos), demuestran la eficacia de métricas adaptadas a las particularidades de cada sector. Ejemplos latinoamericanos como el programa de recuperación de vidrio impulsado por Grupo Modelo y BID Invest evidencian cómo la implementación de métricas rigurosas permite mejorar tanto la calidad como el volumen de materiales recuperados.

-Innovación tecnológica

La adopción de tecnologías como blockchain

para la trazabilidad de materiales reciclados, y plataformas digitales para el cálculo de huella de carbono y circularidad, están revolucionando la gestión y la transparencia en la cadena de valor. Asimismo, las certificaciones ambientales (HQE, LEED, BREEAM) incorporan cada vez más criterios de circularidad en sus evaluaciones.

-Actores Clave y la Necesidad de Colaboración

La transición hacia una economía circular medible y verificable exige la acción coordinada de múltiples actores:

- **Empresas:** Integrar métricas robustas en la gestión y reportar resultados con transparencia es ya una ventaja competitiva y una exigencia del mercado.
- **Gobiernos:** Desarrollar políticas, incentivos fiscales y regulaciones que favorezcan productos circulares y penalicen prácticas lineales es fundamental, como lo demuestra la Estrategia España 2030.
- **Academia y sociedad civil:** La investigación y la formación son esenciales para desarrollar métricas adaptadas a contextos locales y para incorporar dimensiones sociales y ambientales de manera integral.

La medición rigurosa de la economía circular constituye la piedra angular de una transición efectiva hacia sistemas productivos sostenibles, resilientes y justos. La armonización de métricas, la adopción de estándares internacionales como la familia ISO 59000 y la integración de tecnologías disruptivas abren nuevas posibilidades para la transparencia y la mejora continua en la gestión de recursos. No obstante, el reto persiste: sólo una colaboración multisectorial y la inclusión de criterios sociales y ambientales permitirán que la economía circular cumpla su promesa de sostenibilidad integral.

“La circularidad no se improvisa: se diseña, se mide y se mejora. Las métricas son el lenguaje común que permitirá a empresas, gobiernos y sociedad avanzar hacia una economía realmente regenerativa.”

Potenciales de Generación de Residuos Reciclables en Cuba



Gestión de POTENCIALES

SISTEMA PARA LA GESTION DE POTENCIALES RECICLABLES

Este artículo explora el concepto de potencial de generación de residuos sólidos reciclables (PGRSR) en Cuba, su importancia en la estimación y cálculo para una gestión sostenible, y su estrecha relación con el medio ambiente y la economía circular. Se analizará cómo el aprovechamiento de estos potenciales contribuye significativamente a la reducción de los impactos ambientales negativos, así como al fortalecimiento de modelos económicos más sostenibles y resilientes.

¿Cómo puede un país en vías de desarrollo transformar sus residuos en una oportunidad económica y ambiental? En Cuba, la respuesta podría estar en la correcta identificación y gestión de sus Potenciales de Generación de Residuos Sólidos Reciclables (PGRSR). Este concepto, crucial para la sostenibilidad, se convierte en una herramienta esencial para optimizar recursos, fomentar la economía circular y proteger el medio ambiente en el contexto

cubano. El objetivo principal de este artículo es definir y analizar la relevancia de los PGRSR en Cuba, destacando su relación con el marco legal vigente y su impacto en el desarrollo sostenible del país.

Conceptualización Integral de los PGRSR en Cuba

Los Potenciales de Generación de Residuos Sólidos Reciclables (PGRSR) en Cuba se definen como la capacidad cuantificable que poseen las

provincias, municipios o sectores económicos cubanos para producir residuos susceptibles de ser recuperados, reincorporados a ciclos productivos o transformados en recursos energéticos, en lugar de ser destinados a disposición final en vertederos. Este concepto abarca tanto la dimensión cuantitativa (volumen generado) como cualitativa (composición y características),

incorporando además su valor potencial económico, energético y ambiental.

“...Como puede un país en vías de desarrollo transformar sus residuos en una oportunidad económica y ambiental”

”

Relevancia Contextual en Cuba

Este concepto adquiere una especial importancia en Cuba, principalmente debido a:

- La necesidad de optimizar recursos: En un contexto de limitaciones económicas, la correcta gestión de los PGRSR permite aprovechar al máximo los recursos disponibles, reduciendo la dependencia de importaciones y generando valor a partir de los residuos.
- El enfoque hacia la sostenibilidad ambiental: El gobierno cubano ha priorizado la sostenibilidad ambiental en sus políticas públicas. La gestión de los PGRSR se alinea con este enfoque, contribuyendo a la reducción de la contaminación, la conservación de los recursos naturales y la mitigación del cambio climático.
- La oportunidad de generación de empleos: El sector del reciclaje ofrece un gran potencial para la creación de empleos en Cuba, desde la recolección y clasificación de residuos hasta la transformación de estos en nuevos productos.
- El potencial de sustitución de importaciones: La recuperación de materiales a través del reciclaje puede reducir la necesidad de importar materias primas, generando ahorros significativos para la economía cubana.

En este sentido, el PGRSR representa no solo una métrica ambiental, sino también un indicador de desarrollo sostenible que integra dimensiones económicas, sociales y ecológicas en el contexto específico de la economía cubana.

Relación entre la Ley 1288 y los Potenciales de Generación de Residuos Sólidos Reciclables en Cuba

La Ley 1288, promulgada en 1975, es una normativa clave que influye en la gestión de residuos y el aprovechamiento de los potenciales de generación de residuos sólidos reciclables en Cuba. A continuación, se detalla cómo esta ley se relaciona con estos potenciales:

Objetivos de la Ley 1288

- Recuperación de materias primas: Obliga a los organismos estatales a recolectar y reutilizar desechos de materias primas, productos y materiales que no sean aprovechados en pro-

cesos de producción o servicios. Esto incluye cualquier otro desecho reutilizable que pueda generarse.

- Ahorro y uso racional de recursos: Promueve la utilización más racional de los recursos en la economía nacional mediante la recuperación y reutilización de desechos.

Impacto en los Potenciales de Generación

- Maximización del potencial de reciclaje: Al obligar a la recolección y reutilización de desechos, la Ley 1288 aumenta el volumen de residuos disponibles para el reciclaje, lo que maximiza el potencial de generación de materiales reciclables.
- Inclusión en planes económicos: La Junta Central de Planificación debe incluir los desechos reutilizables en los planes técnico-económicos, lo que asegura que su recuperación sea una parte integral de la planificación económica nacional.

El Proceso de Elaboración de Potenciales

El proceso de elaboración de potenciales atraviesa por dos momentos importantes:

- Elaboración de potenciales del sector estatal
- Elaboración de los potenciales del sector doméstico

Las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs) en la Gestión de los Potenciales de Generación de Residuos Sólidos Reciclables

El desarrollo actual de las TICs y la rapidez con la que fluye la información a nivel mundial, propicia que se considere la información como uno de los principales activos de cualquier organización. El uso de las TICs permite la satisfacción, cada vez con mayor eficiencia, de las necesidades existentes en los usuarios de la información lo que conduce a un acelerado desarrollo de las soluciones enfocadas a esta área del desarrollo. Cuba transita desde hace algunos años por un proceso que se ha definido como informatización de la sociedad: uno de los tres pilares que respalda la gestión gubernamental. Las acciones realizadas, si bien aún no alcanzan la magnitud que demanda el desarrollo del país, han

propiciado avances incuestionables en el gobierno y comercio electrónicos. La industria del reciclaje no está exenta de eso y se enfoca en ofrecer nuevas soluciones con el fin de mejorar el aprovechamiento de materiales que pueden ser reciclados y la reducción de residuos en los vertederos.

El Grupo Empresarial de Reciclaje trabaja arduamente para incorporar nuevas tecnologías que contribuyan a minimizar el impacto del desaprovechamiento de materias primas reciclables tiene en el medio ambiente. Enfocado en esta perspectiva fue desarrollado por la Empresa de Ingeniería del Reciclaje (ISDE) la aplicación web GestPot.

Este sistema multiplataforma permite captar las métricas de medición de los productos reciclables cubanos. Las empresas provinciales se nutren de las informaciones generadas por diferentes fuentes y esta es procesada en el servidor de datos que se encuentra en ISDE. Los diferentes productos agrupados en su clasificación: ferrosos, no ferrosos y no metálicos, son modulados para obtener de ellos los indicadores de medición que permitan evaluar el comportamiento de la generación y la recuperación que permita realizar los cálculos para definir la eficiencia y eficacia del proceso.

GestPot es un software modular que cuenta con alto grado de parametrización lo que le permite adaptarse a los procesos que tiene lugar dentro de las organizaciones. La ventaja del GestPot está dada por la reducción en los costos de implementación, independencia de proveedores, resultado de estándares abiertos y compatibilidad con otras herramientas. Todos estos servicios están integrados a una plataforma web en la que los usuarios pueden consultar la información de manera fácil e intuitiva. Las soluciones de GestPot están escritas en PHP y tienen un ambiente de implementación también basado en ese lenguaje, esto hace que GestPot sea una solución muy flexible para cubrir una amplia gama de necesidades empresariales, tanto las típicas como las sofisticadas y específicas.

El sistema propuesto funciona de forma ininte-

rrumpida permitiendo a los usuarios que se dedican a la evaluación de estas métricas, consultar la información en cualquier tiempo y lugar utilizando internet, ya sea a través de una PC o de un teléfono celular permitiendo el acceso a datos que pueden ser recolectados y procesados de formas diferentes simulando situaciones reales y así poder elegir la mejor opción para identificar, resolver problemas y tomar decisiones de una manera ágil y correcta con el menor tiempo posible.

La correcta identificación y gestión de los Potenciales de Generación de Residuos Sólidos Reciclables (PGRSR) se presenta como una estrategia fundamental para avanzar hacia un modelo de desarrollo más sostenible en Cuba. La Ley 1288 establece un marco legal importante, pero su efectividad depende de la implementación de políticas y prácticas que fomenten la recolección, clasificación y reutilización de residuos en todos los sectores de la sociedad.

La gestión más eficiente de los PGRSR a través de soluciones basadas en el uso de las TICs, es sin duda un paso de avance encaminado a facilitar el trabajo de los que tomando como base la información generada por un sistema automatizado que permita el análisis de datos a partir de los que se puedan identificar, resolver problemas y tomar decisiones estratégicas basadas en el conocimiento con el objetivo de que el sector mejore sus beneficios.

A través de GestPot el sistema de reciclaje cubano cuenta con una infraestructura capaz de gestionar sus métricas de medición y convertirlas en indicadores clave de medición. La digitalización de los procesos de generación y recuperación contribuyen al cumplimiento de indicaciones nacionales e internacionales para avanzar con las nuevas tecnologías a nuevos paradigmas más amigables con el medio ambiente. Cuba a pesar de las trabas existentes trabaja para convertir sus residuos en una fuente de riqueza y sostenibilidad, impulsando así su economía y protegiendo su medio ambiente para las futuras generaciones.

Aplicaciones, Limitaciones y Perspectivas para la Economía Circular



La transición hacia una economía circular requiere herramientas que permitan medir y evaluar la circularidad de productos y procesos. El Material Circularity Indicator (MCI), desarrollado por la Ellen MacArthur Foundation, se ha consolidado como una herramienta clave para medir la circularidad de productos y materiales en diversos sectores.

El MCI, es una herramienta gratuita basada en Excel diseñada para medir la circularidad de los flujos materiales de un producto, que evalúa la proporción de materiales vírgenes utilizados en la fabricación de un producto y la posibilidad de recuperar esos materiales al final de su vida útil. Esta evaluación se realiza considerando las entradas (qué materiales componen el producto y su origen) y las salidas (qué sucede al final de la vida del producto). Sin embargo, su aplicación ha revelado tanto fortalezas como debilidades que merecen una revisión detallada.

Este artículo ofrece una evaluación crítica del MCI, explorando su metodología, aplicaciones prácticas, limitaciones y comparaciones con otros indicadores de circularidad. Además, se discuten propuestas de mejora y adaptaciones

recientes que buscan superar sus limitaciones, proporcionando una visión integral para profesionales del sector del reciclaje y la sostenibilidad.

Metodología del MCI

El MCI mide la circularidad de un producto en una escala de 0 a 1, donde 1 representa un producto completamente circular. La fórmula considera tres componentes principales:

- Índice de Flujo Lineal (LFI): Proporción de materiales vírgenes utilizados y residuos no recuperados.
- Factor de Utilidad (F(X)): Duración e intensidad de uso del producto en comparación con el promedio de la industria.
- Ajuste para evitar valores negativos: Se asegura que el MCI se mantenga dentro del rango de 0 a 1.

La fórmula se expresa como:

$$MCI^* = 1 - LFI \times F(X)$$

$$MCI = \max(0, MCI^*)$$

Esta metodología permite evaluar cómo se minimizan los flujos lineales y se maximizan los flujos restaurativos en un producto.

Aplicaciones Prácticas del MCI

**¿USTED PONDRÍA UNA PÁGINA DE ANUNCIOS EN BLANCO?
NOSOTROS SI...**

PORQUE ESTA PÁGINA ESTA PENSADA PARA USTED.

ANUNCIATE CON NOSOTROS

El MCI ha sido aplicado en diversos sectores, incluyendo la construcción, la industria alimentaria y la fabricación de envases. Por ejemplo, en el sector de la construcción, se ha utilizado para evaluar la circularidad de materiales como el concreto y el acero, considerando tanto la proporción de materiales reciclados como la posibilidad de reutilización al final de la vida útil del producto. En la industria alimentaria, se ha adaptado el MCI para evaluar ciclos biológicos, como en la producción avícola, integrando aspectos de reciclaje de nutrientes y reducción de residuos orgánicos.

Limitaciones del MCI

A pesar de su utilidad, el MCI presenta varias limitaciones:

- **Enfoque en flujos de masa:** El MCI se basa principalmente en la cantidad de materiales, sin considerar el valor económico o la escasez de los mismos.
- **Dificultad en la obtención de datos:** La recopilación de datos precisos sobre la composición de materiales y su destino al final de la vida útil puede ser compleja y costosa.
- **Limitaciones en ciclos biológicos:** El MCI fue diseñado originalmente para ciclos técnicos, lo que limita su aplicabilidad en productos de origen biológico o renovable.
- **No considera impactos ambientales:** El MCI no incorpora directamente indicadores de impacto ambiental, como emisiones de gases de efecto invernadero o consumo de energía.

Comparación con Otros Indicadores

Se han desarrollado otros indicadores para superar algunas de las limitaciones del MCI:

- **Product Circularity Indicator (PCI):** Propone una evaluación más holística, considerando aspectos como la durabilidad, reparabilidad y reciclabilidad del producto.
- **Indicador de Valor Residual (RVI):** Introduce el valor económico de los materiales al final de su vida útil, proporcionando una perspec-

tiva más alineada con la realidad del mercado. Estas alternativas buscan complementar o mejorar las evaluaciones proporcionadas por el MCI, ofreciendo una visión más completa de la circularidad.

Propuestas de Mejora y Adaptaciones

Para abordar las limitaciones del MCI, se han propuesto diversas adaptaciones:

- **Integración con Análisis de Ciclo de Vida (LCA):** Combinar el MCI con LCA permite incorporar impactos ambientales en la evaluación de la circularidad. agrifoodecon.springeropen.com
- **Adaptación a ciclos biológicos:** Modificar la metodología del MCI para incluir productos de origen biológico, considerando aspectos como la biodegradabilidad y la regeneración natural.
- **Incorporación de aspectos económicos:** Incluir el valor económico de los materiales y productos en la evaluación para reflejar mejor la viabilidad de estrategias circulares.

El Material Circularity Indicator es una herramienta

valiosa para medir la circularidad de productos y materiales, ofreciendo una base cuantitativa para la toma de decisiones en la transición hacia una economía

circular. Sin embargo, sus limitaciones resaltan la necesidad de complementarlo con otros indicadores y metodologías que consideren aspectos económicos, ambientales y sociales. La evolución y adaptación del MCI, junto con el desarrollo de nuevas métricas, serán fundamentales para avanzar en la implementación efectiva de estrategias circulares en diversos sectores industriales.

“...el MCI es una herramienta valiosa para medir la circularidad de los productos y materiales...”

CONVIERTE RESIDUOS EN ENERGÍA LIMPIA.

Diseña tu briqueteadora con ISDE



**AHORRA
ENERGÍA**



**REDUCE
EMISIONES DE CO₂**



**RECICLAJE
INTELIGENTE**



**SUSTITUTO
ECOLÓGICO
DEL CARBÓN**

**Convierte residuos en energía limpia.
¡Adquiere tu briqueteadora ISDE hoy!**

Métricas de Circularidad: Una evaluación crítica



La Economía Circular ha ganado prominencia como un paradigma alternativo al modelo económico lineal tradicional, que sigue el ciclo de "extraer–producir–usar–desechar". En contraste, la EC promueve un sistema regenerativo, basado en el mantenimiento del valor de los productos, materiales y recursos en la economía durante el mayor tiempo posible, reduciendo al mínimo los residuos.

El artículo "Towards sustainable development through the circular economy—A review and critical assessment on current circularity metrics" (Corona et al., 2019), publicado en la revista *Journal of Cleaner Production*, ofrece una revisión crítica sobre las métricas actuales utilizadas para evaluar la economía circular (EC) destacando sus limitaciones y proponiendo mejoras para alinear la EC con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Dado el creciente interés en aplicar la economía circular como una estrategia clave para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), es crucial contar con métricas confiables y robustas que permitan evaluar su efectividad y monitorear el progreso.

El artículo tiene como objetivo revisar críticamente el estado actual de las métricas de circu-

laridad, identificar vacíos y limitaciones metodológicas y proponer criterios para el desarrollo de métricas más eficaces e integradoras.

1. Análisis de métricas existentes

Los autores evalúan un conjunto diverso de métricas utilizadas tanto a nivel de producto, empresa y sistemas económicos (regionales, nacionales o sectoriales). Entre las métricas analizadas se incluyen: La tasa de reciclaje, el índice de circularidad material (MCI), indicadores de eficiencia de recursos e indicadores del ciclo de vida del producto.

2. Clasificación de Métricas de Circularidad

Según Corona et al. (2019), las métricas se dividen en tres categorías principales:

A. Métricas Basadas en Materiales

Estas métricas evalúan el flujo de materiales en sistemas productivos (ej.: eficiencia en reciclaje, reutilización).

Ejemplos clave:

- Tasa de reciclaje (%) :Proporción de material recuperado vs. desechado.
- Índice de Circularidad de Materiales (MCI, Ellen MacArthur Foundation) :Evalúa la retención de valor en ciclos técnicos y biológicos.
- Flujo de residuos por unidad de PIB :Re-

lación entre generación de residuos y crecimiento económico.

Las limitaciones de las métricas basadas en los materiales se concentran en los siguientes aspectos:

- No consideran impactos ambientales indirectos por ejemplo no se tiene en cuenta la energía usada en el reciclaje del mismo.
- Ignoran la calidad del material reciclado (downcycling vs. upcycling).

B. Métricas Basadas en Productos

Las métricas analizan el diseño y ciclo de vida de productos para prolongar su uso.

Ejemplos clave:

- Durabilidad :Vida útil del producto.
- Índice de Reparabilidad :Facilidad para reparar un producto.
- Eco-diseño para desmontabilidad :Capacidad de desensamblar componentes para reutilización.

Las métricas basadas en los productos presentan las siguientes limitaciones:

- No miden el impacto sistémico, por ejemplo, un producto puede ser duradero, pero con alta huella de carbono.
- Dificultad para estandarizar criterios entre sectores.

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE



C. Métricas Sistémicas

Las métricas sistémicas integran aspectos ambientales, económicos y sociales.

Ejemplos clave:

- Huella de Carbono vinculada a estrategias de EC :Emisiones evitadas por reutilización.
- Análisis de Ciclo de Vida (ACV) + Circularidad :Combina ACV con indicadores de EC.
- Índice de Circularidad de Ciudades (CCI)

:Evalúa políticas urbanas de EC.

Estas métricas tienen como ventaja que capturan elementos externos como la energía, emisiones, empleo verde, lo que alinea la EC con los ODS, pero presenta limitaciones como una alta complejidad metodológica y la falta de datos estandarizados.

3. Críticas a las Métricas Actuales

Los autores a partir de su investigación encuentran que muchas de estas métricas están fuertemente centradas en aspectos materiales y técnicos, como la cantidad de materiales reciclados o reutilizados, y que no abordan suficientemente aspectos cualitativos, como el impacto ambiental o social del proceso de circularización. Como principales limitaciones identificadas los autores exponen:

La falta de enfoque sistémico: Muchas métricas se limitan a niveles micro (producto o empresa) y no capturan las interconexiones a nivel macro. La poca consideración de los impactos indirectos: Se omiten efectos colaterales como el consumo de energía o la toxicidad en procesos de reciclaje.

La desvinculación con los ODS: Las métricas existentes no integran adecuadamente los componentes sociales y ambientales que son clave para el desarrollo sostenible.

Las inconsistencias metodológicas: Falta de normalización entre las diferentes herramientas y enfoques utilizados.

Propuesta de mejora

El artículo sugiere que, para mejorar las métricas de circularidad, estas deberían:

Incorporar perspectivas multicriterio (económicas, sociales y ambientales).

Considerar el ciclo de vida completo de los productos.

Establecer conexiones claras con los ODS.

Ser comparables y reproducibles para facilitar su uso por diferentes agentes y sectores.

También se enfatiza la necesidad de una colaboración intersectorial, entre gobiernos, empresas y organismos académicos, para establecer marcos métricos armonizados y útiles para la toma de decisiones.

4. Propuestas para Métricas Integradas

El artículo sugiere que, para mejorar las métricas de circularidad, estas deberían incorporar perspectivas multicriterio (económicas, sociales y ambientales), considerar el ciclo de vida completo de los productos, que las métricas utilizadas puedan establecer conexiones claras con los ODS y que estas puedan ser comparables y reproducibles para facilitar su uso por diferentes agentes y sectores.

También enfatiza en la necesidad de una colaboración intersectorial, entre gobiernos, empresas y organismos académicos, para establecer marcos métricos armonizados y útiles para la toma de decisiones.

Corona et al. (2019) sugieren:

□ Combinar ACV + Indicadores de Circularidad

:Evaluar no solo el flujo de materiales, sino también su impacto ambiental.

□ Incluir Dimensiones Sociales :Ej.: empleo generado por modelos de EC.

□ Enfoque Territorial :Adaptar métricas a contextos locales (ej.: disponibilidad de infraestructura de reciclaje).

Conclusión

El estudio concluye que, aunque las métricas actuales ofrecen una base útil, son insuficientes para capturar plenamente la complejidad de la economía circular y su contribución al desarrollo sostenible. Se necesita una evolución hacia indicadores más holísticos y contextuales, que permitan una mejor gobernanza, planificación y seguimiento de las estrategias circulares.



Métricas de Circularidad

Una revisión crítica

CONTEXTO Y MOTIVACIÓN



Es necesario contar con métricas para evaluar la economía circular y contribuir al desarrollo sostenible

LIMITACIONES DE LAS MÉTRICAS ACTUALES

1

Falta de enfoque sistémico

2

Poca consideración de los impactos indirectos

3

Desvinculación con los ODS

4

Inconsistencias metodológicas

PROPUESTA DE MEJORA



Perspectivas multicriterio



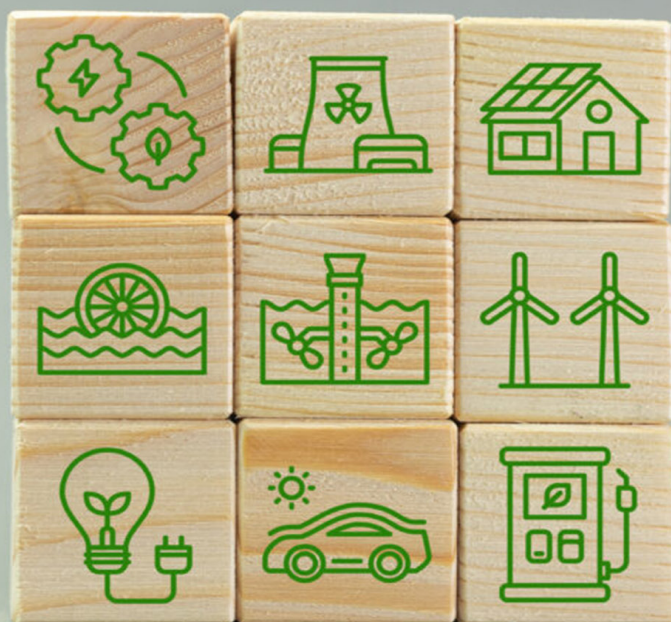
Considerar el ciclo de vida



Conexión con los ODS



Conexión con los ODS



EMPRESA DE INGENIERIA DEL RECICLAJE

Calle Zapata #1558 e/ Paseo y 2. Vedado.Plaza de la Revolución. Cuba

 **observatorio@isde.co.cu**

 **observatorio.reciclaje.cu**

 **observatorio-cubano-del-reciclaje**

 **observatorio tecnologico**