



Americas Sustainable Development Foundation

**Indicadores de Desempeño
para medir los avances en
Economía Circular en el Centro
Nacional de Salvamentos**
Una iniciativa de Grupo SURA



Visite nuestro Sitio Web
WWW.SUSTAINABLEAMERICAS.COM

INDICADORES DE DESEMPEÑO PARA MEDIR LOS AVANCES EN ECONOMÍA CIRCULAR EN EL CENTRO NACIONAL DE SALVAMENTOS



Título	Indicadores de desempeño para medir los avances en Economía Circular en el Centro Nacional de Salvamentos
Fase del Proyecto	Fase 4: Optimización
Objetivo del documento	Presentar los indicadores de desempeño propuestos para que el CNS pueda medir los avances en materia de Economía Circular en sus operaciones. Se detalla cada indicador y la metodología para su medición.
Autores responsables	Lorena García, ASDF Kevin de Cuba, ASDF José Antonio González, CEP-Américas Kenneth Alston, CEP-Américas
Documento revisado por:	Alejandro Acevedo, Grupo Sura Carlos Andrés Uribe, Grupo Sura Ricardo Cardona, Grupo Sura
Fecha de entrega	10 de julio de 2019

La Fundación para el Desarrollo Sostenible de las Américas (ASDF, por sus siglas en inglés) es una fundación de asesoría independiente sin fines de lucro que se especializa en reunir ideas, personas y acciones para realizar soluciones innovadoras para lograr el desarrollo sostenible en todo el Continente Americano.

Establecida desde 1998 en la isla de Aruba, en el Caribe holandés, la fundación está compuesta por destacados expertos internacionales y multidisciplinarios y opera en todo el hemisferio occidental con representantes en Aruba, Estados Unidos, Colombia y Chile, donde ASDF ayuda a gobiernos, empresas, universidades y otros tipos de organizaciones que abordan los desafíos para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

ASDF a través de su Programa de Economía Circular, es la entidad fundadora de la **Plataforma de Economía Circular de las Américas** (ver: www.cep-americas.com) y opera como la Secretaría Técnica de la Plataforma. Esta primera plataforma regional establecida en el verano de 2016 sirve como un Centro de Excelencia en Economía Circular por y para varios actores clave y expertos del Continente Americano. Juntos, los miembros de la plataforma y los expertos afiliados ayudan a abordar las preguntas y los desafíos de la Economía Circular en las Américas.



Americas Sustainable Development Foundation

Fundación para el Desarrollo Sostenible de las Américas (ASDF)
P.O. Box 5202
Oranjestad, ARUBA
Caribe Holandés
T: + 297-587-2013
E: info@sustainableamericas.com
U: www.sustainableamericas.com

@ 2019 Fundación para el Desarrollo Sostenible de las Américas / *Americas Sustainable Development Foundation*. Todos los derechos reservados

Resumen Ejecutivo

Las empresas que han implementado prácticas de economía circular (EC) a nivel mundial han estado midiendo sus avances con diferentes indicadores. Cada empresa ha encontrado sus propias motivaciones y sus metodologías para medir estos avances. El Centro Nacional de Salvamentos, no es la excepción y ha estado midiendo la cantidad de materiales que recuperan al final de la vida útil de un vehículo y otras medidas como la huella de carbono evitada gracias a sus operaciones de prolongación de vida útil de autopartes.

Sin embargo, es necesario lograr una homogeneidad en la forma como se están midiendo los avances en términos de economía circular a nivel empresarial, que permita hacer comparaciones entre empresas, industrias y sectores. La Fundación Ellen MacArthur como el centro de pensamiento más grande del mundo en Economía Circular en colaboración con algunos socios clave, ha desarrollado una metodología para calcular el Indicador de Circularidad de Materiales (MCI por sus siglas en inglés), el cual se está posicionando como el indicador que permitirá lograr la homogenización de mediciones de avances en EC.

En este documento, se presenta en primer lugar el estado del arte de los indicadores para medir la economía circular a nivel empresarial, después se hacen algunas recomendaciones generales sobre la medición de indicadores y finalmente se presenta la metodología para calcular diferentes indicadores propuestos.

En resumen, se recomienda al CNS:

- Incorporar la Economía Circular en la estrategia de sostenibilidad de la compañía y estrategia corporativa del CNS
- Migrar hacia indicadores que permitan medir el Desempeño de Sostenibilidad y la Creación de Valor Circular
- Implementar métricas asociadas al valor económico generado gracias a las prácticas circulares
- Los indicadores de desempeño recomendados son: Como indicador principal de la circularidad, implementar el cálculo del Indicador de Circularidad de Materiales(MCI), y como indicadores que permitan rastrear el valor económico y eficiencia de los procesos de recuperación y valorización implementar el cálculo de: Tiempo del inventario que permanece en las instalaciones del CNS (TI), el Valor Económico de materiales recuperados (VER) y hacer un Ranking de vehículos de acuerdo con su MCI.

Estas recomendaciones permitirán empezar a alinear la estrategia del CNS, con sus objetivos de empresariales y de sostenibilidad apoyados por una Economía Circular. Además, sientan las bases para futuros desarrollos de indicadores de desempeño.

Contenido

RESUMEN EJECUTIVO	4
1. ¿POR QUÉ Y CÓMO MEDIR LOS AVANCES EN ECONOMÍA CIRCULAR A NIVEL EMPRESARIAL?: ESTADO DEL ARTE	6
2. RECOMENDACIONES PARA MEDIR EL AVANCE EN ECONOMÍA CIRCULAR EN EL CENTRO NACIONAL DE SALVAMENTOS	9
2.1. INDICADORES DE DESEMPEÑO ACTUALES EN EL CNS	9
2.2. RECOMENDACIONES GENERALES	10
2.3. INDICADORES DE DESEMPEÑO CIRCULARES RECOMENDADOS	11
2.3.1. Indicador de la Circularidad de Materiales (MCI) de vehículos siniestrados	12
2.3.2. Tiempo del inventario que permanece en las instalaciones del CNS (TI)	17
2.3.3. Valor Económico de materiales recuperados (VER)	17
2.3.4. Ranking de vehículos de acuerdo con su MCI	18

1. ¿Por qué y cómo medir los avances en Economía Circular a nivel empresarial?: Estado del arte

A nivel empresarial La Economía Circular (EC) ha representado oportunidades económicas al generar nuevas fuentes de ingreso, de reducción de riesgo en el caso de mitigar los impactos de desabastecimiento de materias primas y la volatilidad de precios de commodities, así como, oportunidades de posicionar las empresas en los mercados, como empresas responsables y que toman acciones concretas hacia la sostenibilidad. A pesar de que diferentes empresas han estado trabajando en avanzar hacia modelos de economía circular, actualmente no existe uniformidad en la forma como se están midiendo estos avances, lo cual no permite hacer comparaciones entre empresas de un mismo sector, o entre sectores industriales. En este capítulo, se presenta el estado actual del desarrollo de métricas para la Economía Circular, que incluye **(1)** las motivaciones por las cuales las empresas están midiendo el desempeño en términos de EC y **(2)** los principales indicadores que se están midiendo al momento a nivel empresarial.

Motivaciones para medir los avances en Economía Circular a nivel empresarial:

Un análisis desarrollado por el World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) en el año 2018, identificó 5 razones por las cuales los negocios están midiendo a través de KPIs los avances en términos de EC. Estas motivaciones se presentan aquí y están organizadas de mayor a menor preferencia de acuerdo con el estudio mencionado:

1. **Impulsar el desempeño o estrategia del negocio:** Cada vez más compañías están viendo a la Economía Circular como un medio para generar valor económico, y reconocen la oportunidad financiera de reevaluar su modelo de negocio. De esta forma, empresas con una madurez avanzada en circularidad, han integrado la Economía Circular no solo en su estrategia de sostenibilidad sino en su estrategia corporativa.
2. **Justificar los logros externamente:** Las empresas actualmente están utilizando métricas circulares para comunicarlas a sus clientes. Otras audiencias a quienes van orientados los reportes de avances en Economía Circular incluyen inversores, entes reguladores, proveedores y ONGs.
3. **Integrar la circularidad en todo el negocio:** Para integrar los principios de Economía Circular (EC) dentro de la estrategia y misión de una empresa, se debe incorporar estos elementos dentro de las operaciones y los sistemas de desempeño gerencial. Esta integración ha mostrado, a través de indicadores aplicables, que la EC promueve el mejoramiento continuo y crea valor financiero real para toda la organización. Algunos estudios han mostrado que la EC impulsa la innovación y ha hecho que las empresas sean más eficientes y competitivas.
4. **Manejar los riesgos asociados con el modelo económico lineal actual:** Algunas empresas también están utilizando métricas circulares como medio para mitigar los riesgos

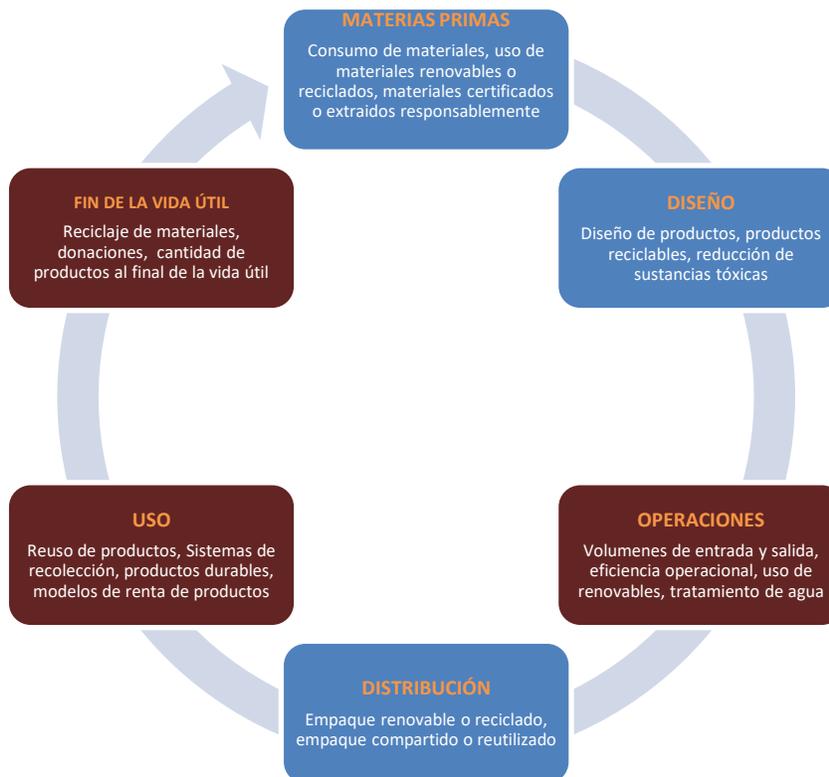
asociados a la economía lineal tales como la volatilidad en precios de commodities, seguridad en el abastecimiento, valor de la marca y reputación y continuidad de la empresa.

- 5. Conocer el impacto de las actividades circulares:** Las empresas también están estableciendo métricas circulares para conocer el impacto de las actividades que han implementado.

¿Cómo están midiendo los avances en Economía Circular las empresas?

El World Business Council for Sustainable Development(WBCSD) también analizó la forma como las empresas están midiendo los avances en prácticas circulares. Ellos han identificado ciertas métricas que aplican a lo largo de una cadena de suministro convencional. En la **Figura 1**, se presentan los indicadores comunes en las etapas de materias primas, diseño de productos, operaciones, distribución, uso del producto y fin de la vida útil. Para las actividades realizadas por el CNS dentro de la cadena de suministro de la industria automotriz, aplicarían las métricas de las etapas de **operación, uso y fin de la vida útil** (resaltadas en color Vinotinto).

Figura 1 Métricas Circulares a lo largo de la cadena de valor¹



¹ Fuente: Circular Metrics Landscape Analysis, World Business Council for Sustainable Development, 2018. Disponible en: <https://www.wbcscd.org/Programs/Circular-Economy/Factor-10/Metrics-Measurement/Resources/Landscape-analysis>

Dentro de estas métricas, algunas ya están siendo aplicadas por el CNS como es el caso de cantidad de materiales que entran y salen y la cantidad de materiales que se están reciclando al final de la vida útil. Sería interesante cuantificar en forma de KPI el tipo de tratamiento que se le está dando a cada uno de los materiales, por ejemplo, reúso o donaciones.

Por otro lado, el WBCSD también ha analizado el tipo de métricas desarrolladas en las empresas de acuerdo con el nivel de madurez en la implementación de prácticas circulares. Diferenciando entre las empresas que **no reconocen formalmente la Economía Circular en su estrategia** que se basan en medir **Eficiencia Operacional**, las empresas que **han integrado a la Economía Circular dentro de su estrategia de sostenibilidad** que se basan en medir el **Desempeño en Sostenibilidad** y aquellas empresas que **han integrado a la Economía Circular dentro de su estrategia corporativa**, las cuales miden la **generación de valor circular**. La **Tabla 1** resume el tipo de métricas utilizadas de acuerdo con el estado de madurez de las practicas circulares en las empresas, para cada uno de los ámbitos que abarcan la triple hélice de la sostenibilidad (Medio Ambiente, Social y Económico)

Tabla 1. Métricas circulares de acuerdo con la madurez en las ambiciones hacia una EC

	Eficiencia operacional	Desempeño en Sostenibilidad	Creación de Valor Circular
Medio Ambiente	-Eficiencia energética -Eficiencia uso de agua -Eficiencia uso de materiales	-Contenido de material reciclado -Proyectos circulares -Cantidad de "basura" que se evita en rellenos sanitarios	-Valorización de residuos. - Preservación del valor
Social	-Horas laborales por unidad -Nivel de productividad -Transparencia en la cadena de valor	-Partes interesadas locales comprometidas - Cantidad de clientes a los que se llega -# de accidentes o incidentes	- Empleos generados (directos e indirectos) -Empresas sociales lanzadas -Contribución económica total
Financiero	-Costo energético por unidad -Facturación por disposición en rellenos sanitarios	-Créditos de Carbono -Implementación de compras circulares. -Ahorros en costos de recursos	-Ingresos circulares -% de productos circulares en portafolio -Ventas de bienes remanufacturados

El Indicador de la Circularidad de Materiales (MCI-Material Circularity Indicator)

En un esfuerzo por desarrollar una medida que permita comparar los avances en términos de Economía Circular en diferentes empresas y sectores, la Fundación Ellen MacArthur, GRANTA y el instrumento financiero de la Unión Europea, Life, desarrollaron una metodología para medir qué tan efectiva es una empresa en hacer la transición hacia una economía circular. Para esto han propuesto el Indicador de la Circularidad de Materiales (MCI por sus siglas en inglés) el cual establece **en qué medida se minimizan los flujos lineales y se maximizan los flujos restaurativos en productos, y que tanto se utiliza un producto en comparación con productos similares**. Este indicador puede ser utilizado como una herramienta para toma de decisiones para diseñadores, pero también para varios propósitos tales como reporte interno, decisiones de compra y la evaluación de empresas.

Los principios de Economía Circular en los cuales se basa el MCI son:

- (i) Utilizar materias primas de fuentes reutilizadas o recicladas
- (ii) Reutilizar componentes o reciclar materiales después del uso del producto
- (iii) Mantener los productos en uso por más tiempo (ej: a través de reutilización o redistribución)
- (iv) Hacer un uso más intensivo del uso de productos (ej: a través de modelos de servicio, rendimiento, o esquemas de compartir activos)

Los datos necesarios para calcular el MCI son: % de material reutilizado como materia prima, % de material reciclado como materia prima, % de material reutilizado al final de la vida útil del producto y % de material reciclado al final de la vida útil, el tiempo de vida útil del producto y el número de unidades funcionales².

La metodología desarrollada para su cálculo permite evaluar la circularidad en los productos de la empresa, así como agregarlos en familias de productos y finalmente hacer una evaluación del MCI de toda la empresa.

Si bien el MCI proporciona una medición de cuánto circulan los materiales de un producto, no tiene en cuenta qué son estos materiales ni proporciona información sobre otros impactos del producto. Como apoyo adicional a la toma de decisiones, esta metodología, por lo tanto, recomienda un enfoque utilizar el MCI en combinación con indicadores complementarios que permitan identificar riesgos e impactos relevantes.

2. Recomendaciones para medir el avance en Economía Circular en el Centro Nacional de Salvamentos

La revisión de literatura relacionada con el desarrollo de métricas para la economía circular permite hacer una serie de recomendaciones aplicables a las operaciones del Centro Nacional de Salvamentos (CNS) del Grupo Sura. En primer lugar, se comprende los indicadores actuales implementados, lo que sirve como línea base para las recomendaciones de futuros indicadores. En segundo lugar, teniendo en cuenta las ambiciones del CNS para avanzar en Economía Circular, se hace recomendaciones de la respectiva estrategia, objetivos de implementar indicadores de desempeño para una economía circular y el tipo de indicadores se podrían implementar en el CNS. Se incluye una descripción detallada de estos indicadores y la metodología para su cálculo.

2.1. Indicadores de desempeño actuales en el CNS

De acuerdo con la información compartida, el CNS lleva un registro detallado de:

- Número y peso de vehículos que desensamblan
- Número y peso de vehículos que venden
- Número y peso de partes que comercializan como repuestos
- Cantidad en kilogramos o litros (líquidos) de partes/materiales para posterior valorización

² Una unidad funcional es una medida del uso de un producto, por ejemplo, puede ser los km recorridos por un vehículo.

- Cantidad en kilogramos de partes/materiales que almacenan porque no cuentan con procesos de recuperación

Con esta información actualmente se está calculando los siguientes indicadores, enfocados en la recuperación de materiales.

- % Recuperación de repuestos (peso de repuestos/ peso total de vehículos desensamblados) en determinado periodo = **29% de enero a septiembre de 2018**
- % Reúso de baterías (baterías vendidas a usuarios/total baterías recuperadas) en determinado periodo= **37% de enero a septiembre de 2018**
- % Reciclaje de baterías por MAC (baterías entregadas a MAC/total baterías recuperadas) determinado periodo= **63% de enero a septiembre de 2018**
- % Reúso de líquidos inflamables-combustibles = **27%**

Adicionalmente, el CNS ha implementado dos indicadores ambientales tales como:

Código del indicador	Nombre del indicador	Objetivo
306-2	Residuos por tipo y método de eliminación	Generar el reporte de la cantidad de residuos generados a raíz de la ejecución de las operaciones de la compañía y cuantificar la cantidad de residuos aprovechados.
305-2	Emisiones de Gases Efecto Invernadero directas del consumo de energía (Alcance 2)	Generar el reporte de la huella de carbono generada y evitada por la operación del CNS.

2.2. Recomendaciones generales

Teniendo en cuenta la estrategia de medición de KPIs actual del CNS y sus ambiciones de convertirse en un referente en la región en términos de Economía Circular, se hacen las siguientes recomendaciones para estructurar una estrategia que permita avanzar y medir estos avances.

- **Incorporar la Economía Circular en la estrategia de sostenibilidad de la compañía y estrategia corporativa del CNS**

La economía circular, al ser entendida no solo como una oportunidad para incrementar la sostenibilidad de las operaciones del CNS, sino como una oportunidad de generar valor económico para la empresa, sirve como marco para establecer la estrategia corporativa del negocio y su estrategia de sostenibilidad.

Al incluir la Economía Circular dentro de la declaración de la estrategia de negocio se está afirmando el compromiso para avanzar en el tema y permite posicionar al CNS cómo una organización líder en la región y el mundo. Además, con los lineamientos de la estrategia del negocio y de sostenibilidad es posible generar acciones que permitan avanzar hacia

una economía circular, cuyos avances son medidos a través de indicadores apropiados.

- **Migrar hacia indicadores que permitan medir el Desempeño de Sostenibilidad y la Creación de Valor Circular**

Se recomienda implementar la medición de KPIs que vayan más allá de la Eficiencia Operacional (ver **Tabla 1**), tales como los propuestos para medir el Desempeño de Sostenibilidad y la Creación de Valor Circular. Esto permitirá incrementar la madurez de las ambiciones hacia una Economía Circular en el CNS y centrarse en estrategias que facilitan el progreso tales como las compras circulares, el desarrollo de proyectos circulares y la remanufactura de partes.

- **Implementar métricas asociadas al valor económico generado gracias a las prácticas circulares**

Se recomienda medir el impacto económico alcanzado gracias a las prácticas de Economía Circular en el CNS, esto permitirá tener claridad en el desempeño financiero de estas prácticas lo cual incentivará el apoyo de la alta gerencia para expandir las capacidades del CNS, apoyar los proyectos asociados y replicar el modelo en otras unidades de negocio del Grupo Sura. Estas métricas también son importantes porque servirán para incentivar futuras alianzas y para inspirar a otras empresas de la región a apostarle a la Economía Circular.

2.3. Indicadores de desempeño circulares recomendados

Estas recomendaciones están orientadas a establecer una versión inicial de los Indicadores de Desempeño (KPIs) asociados a las prácticas de Economía Circular en el CNS. Esta versión inicial está limitada a la información disponible en el momento, la facilidad para adquirir esa información y las suposiciones hechas dado el caso que no haya información disponible.

Se recomienda:

- Implementar la medición de un indicador asociado al manejo de materiales que esté siendo reconocido a nivel mundial, en este caso, se considera apropiado el **Indicador de Circularidad de Materiales (MCI)**
- Implementar métricas asociadas al **valor económico generado** a través de prácticas circulares y a la optimización en el proceso de almacenaje y venta de repuestos tales como Valor del tiempo del inventario que permanece en las instalaciones del CNS, Valor de los materiales recuperados y comercializados y elaborar un Ranking de vehículos de preferencia para poder aprovechar al máximo sus partes.
- **Cantidad de Proyectos Circulares** lanzados y en desarrollo en determinado lapso, esto es muy importante, para medir la gestión del Centro de Innovación para la Circularidad y la Movilidad.

A continuación, se da una descripción detallada de cada indicador, su objetivo y la metodología para calcularlo.

2.3.1. Indicador de la Circularidad de Materiales (MCI) de vehículos siniestrados

¿Qué mide el MCI a nivel de producto?: El MCI es un indicador que asigna un puntaje entre 0 y 1 a un vehículo evaluando qué tan restaurativo(circular) o lineal es el flujo de los materiales de dicho vehículo y el tiempo e intensidad que se utiliza en comparación con vehículos similares de la industria promedio.

Objetivo: Evaluar la circularidad de los vehículos que llegan al CNS para hacer seguimiento al desempeño en términos de recuperación de materiales en el tiempo.

Metodología de cálculo:

La metodología de calculo propuesta está inspirada en la Metodología desarrollada por la Fundación Ellen MacArthur y GRANTA con el apoyo del proyecto LIFE de la Unión Europea³.

Esta metodología está diseñada para su uso con datos de productos representativos de lo que realmente sucede en el mercado. La entrada de datos en el modelo debería basarse idealmente en el conocimiento del producto que se está evaluando. Cuando no se conozca esta información, en su lugar se pueden usar datos genéricos de la industria o las mejores aproximaciones.

Materia Prima Virgen (V)

La cantidad de materia prima virgen se calcula conociendo la Masa total del vehículo (M), la fracción de material reciclado incorporado (F_R) y la fracción de material reutilizado (F_U). La fórmula es la siguiente:

$$V = M \times (1 - F_R - F_U) \quad \text{Ecuación 1}$$

Suposición 1

Dado que no se conocen datos exactos de las fracciones F_R y F_U para cada uno de los vehículos que llegan al CNS, se propone hacer la suposición de que estas fracciones son iguales a cero, es decir que los fabricantes no utilizan materiales reciclados en la fabricación de nuevos vehículos.

Con estas suposición la Ecuación 1, queda reducida a:

$$V = M \quad \text{Ecuación 2}$$

Material no recuperable (W)

La cantidad materiales que no se pueden recuperar en las operaciones del CNS se calculan de acuerdo con la ecuación 3.1 la cual es adaptada de la Ecuación 3.

$$W = W_0 + \frac{W_F + W_C}{2} \quad \text{Ecuación 3}$$

³ Disponible en: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/insight/Circularity-Indicators_Methodology_May2015.pdf

En donde:

W_0 = Es la cantidad de material que va a rellenos sanitarios o se quema

W_C = Es la cantidad de material que se pierde en los procesos de reciclaje

W_F = Es la cantidad de material que se pierde al producir material reciclado que se utiliza como materia prima en un vehículo

Suposición 2

Dado que en el momento no se cuenta con información de la cantidad de material que se recicla y se reincorpora en la fabricación de un vehículo nuevo, **se asume que el valor de W_F es igual a cero. De esta forma el material no recuperable es igual al material que se descarta como basura en rellenos sanitarios y aquel que se envía a quemar y el material que se pierde en los procesos de reciclaje, dando origen a la ecuación 3.1.**

$$W = W_0 + W_C \quad \text{Ecuación 3.1}$$

El cálculo de W_0 y W_C se presenta a continuación:

$$W_0 = M(1 - C_R - C_U) \quad \text{Ecuación 4}$$

En donde C_R es la fracción en masa de materiales que se reciclan y C_U es la fracción en masa de materiales que se reutilizan

$$C_R = \frac{\text{Peso Material Reciclado } (M_R)}{M}$$

$$C_U = \frac{\text{Peso de partes vendidas como repuestos } (M_U)}{M}$$

Simplificando, la Ecuación 4 se reduce a:

$$W_0 = M - M_R - M_U \quad \text{Ecuación 5}$$

Para el caso del material que se pierde en los procesos de reciclaje se utiliza la siguiente ecuación:

$$W_C = M \times (1 - E_C) \times C_R$$

La cual, incluyendo al reemplazar el término C_R por su fórmula, se simplifica a la Ecuación 6.

$$W_C = M_R \times (1 - E_C) \quad \text{Ecuación 6}$$

En la Ecuación 6 el término E_c se refiere a la eficiencia del proceso de reciclaje de los materiales al final de la vida útil del vehículo- Esta eficiencia depende de varios factores como el tipo de material, la cantidad de material, procesos previos al proceso de reciclaje

En el caso en que se produzca un rango de flujos de material a partir de un producto con múltiples componentes, diferentes procesos de recuperación de material tendrán diferentes eficiencias. Se requerirá una buena comprensión de los procesos de recuperación y reciclaje típicos de un producto determinado para obtener valores precisos para E_c . Idealmente, debería haber un valor para cada material y para cada proceso de reciclaje específico. Sin embargo, en los casos en que los valores específicos de la aplicación para E_c no están disponibles, se pueden usar valores genéricos.

Suposición 3

Asumiendo que los materiales que se reciclan en mayor proporción en el CNS son metales, se propone utilizar una Eficiencia E_c relacionada a la eficiencia de reciclaje de este material que ha sido reportada en 86%⁴

Con la suposición 3, la Ecuación 6 se simplifica a:

$$W_C = M_R \times 0.14 \quad \text{Ecuación 7}$$

Cálculo del Índice de Flujo Lineal (LFI)

El Índice de Flujo Lineal (LFI) mide la proporción de material que fluye de manera lineal, es decir, que proviene de materiales vírgenes y termina como un residuo irre recuperable. Por lo tanto, el LFI se calcula dividiendo la cantidad de material que fluye de manera lineal por la suma de las cantidades de material que fluyen de forma lineal y restaurativa (o, en resumen, el flujo de masa total).

El índice toma un valor entre 1 y 0, donde 1 es un flujo completamente lineal y 0 un flujo completamente restaurador.

Se calcula siguiendo la siguiente ecuación:

$$LFI = \frac{V + W}{2M + \frac{W_f - W_c}{2}}$$

Teniendo en cuenta la suposición 2, W_f es igual a cero, el cálculo de LFI se reduce a:

$$LFI = \frac{V+W}{2M+\frac{W_c}{2}} \quad \text{Ecuación 8}$$

Cálculo de la utilidad

⁴ <https://www.steelsustainability.org/recycling>

La utilidad (X) tiene dos componentes: uno que tiene en cuenta la vida útil del producto y otro para la intensidad de uso (unidades funcionales). La fórmula para su cálculo es:

$$X = \left(\frac{L}{L_{av}}\right) \cdot \left(\frac{U}{U_{av}}\right) \quad \text{Ecuación 9}$$

En donde:

L: Tiempo de vida útil del vehículo

L_{av} : Promedio del Tiempo de vida útil de un vehículo en la industria

U: Intensidad del uso del vehículo = Kilómetros recorridos

U_{av} : Intensidad promedio del uso del vehículo = Kilómetros recorridos promedio del vehículo en la industria.

Suposición 4:

Se espera que en la mayoría de los casos se utilicen tiempos de vida útil o unidades funcionales, pero no ambos, para calcular X. Si los tiempos de vida útil se usan exclusivamente, esto significa que $U / U_{av} = 1$. Si se usan unidades funcionales exclusivamente, esto significa asumir que $L / L_{av} = 1$.

En este caso, se recomienda utilizar únicamente el factor L / L_{av} y asumir que $U / U_{av} = 1$

Esta forma la Ecuación 9 queda simplificada a:

$$X = \left(\frac{L}{L_{av}}\right) \quad \text{Ecuación 10}$$

Suposición 5

En el caso de vehículos convencionales familiares, se estima que un carro en la industria tiene una **vida útil promedio de 16 años⁵. Este dato se utiliza como L_{av}**

Cálculo del Indicador de Circularidad de Materiales (MCI) de un producto

Con el cálculo del material virgen (V), el material no recuperable (W), el índice de flujo lineal (LFI) y el factor de utilidad (X) se procede a calcular el MCI. Dado por la ecuación 11

$$MCI_p = \text{Máx}(0 ; MCI^*_p) \quad \text{Ecuación 11}$$

En donde:

$$MCI^*_p = 1 - LFI \times \frac{0.9}{X}$$

⁵ <https://www.larepublica.co/empresas/mas-de-53-del-parque-automotor-supera-los-10-anos-2719394>

Se ha creado una hoja de Excel en donde se ingresan los datos del vehículo y datos de recuperación de materiales y vida útil para calcular cada uno de los factores necesarios para el Cálculo del MCI, la cual se adjunta. A continuación, se presenta un ejemplo de un caso hipotético.



Indicador de Circularidad de Materiales

1. Datos del Vehículo

Placa Vehículo	XXX333
Marca Vehículo	Renault
Familia Vehículo	Sandero
Modelo	2009

2. Datos de recuperación de materiales

Peso del vehículo recuperadas como repuestos M_V (Kg)	1200
materiales para reciclaje M_R (Kg)	700
Tiempo vida útil del	200
	10

3. Cálculos

Materia prima virgen V (Kg)	980,4
Material perdido en procesos de reciclaje W_C (Kg)	28
Material que se envía a rellenos sanitarios o se quema W_S (Kg)	300
Material no recuperable W (Kg)	328

Índice de Flujo Lineal (LFI)	0,54
Factor de Utilidad (X)	0,71

Indicador de la Circularidad de Materiales (MCI)	0,32
--	------

Usos del MCI de vehículos siniestrados:

El cálculo del MCI para cada uno de los vehículos siniestrados que llegan al CNS, permitirá tener una aproximación a que tan circulares o restaurativos son los flujos de materiales de los vehículos, clasificándolos por Marca-Familia-Año de fabricación (Modelo).

Aunque el CNS no tiene la capacidad de modificar características del diseño del producto para mejorar el índice (por ejemplo: incluyendo mayor cantidad de materiales reciclados o partes reutilizadas), este indicador sirve para empezar a documentar la información de la circularidad de los vehículos recibidos para ser comunicada a las casas ensambladoras más representativas.

Además, este indicador permitirá conocer el estado de recuperación de materiales, y por consiguiente su optimización, minimizando el Índice de Flujo Lineal.

En un futuro cercano, es posible calcular el MCI agrupando datos de Marca-Familia y sólo Marca, esto permitirá utilizando la herramienta "Company Level Aggregator Tool"⁶ calcular un MCI global para la compañía, así el CNS podrá conocer su MCI en el año 20XX.

Limitaciones del cálculo del MCI para vehículos siniestrados:

Es de aclarar que dadas las suposiciones hechas para el caso en donde no es posible contar con

⁶Disponible en: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/resources/apply/circularity-indicators>

información puntual, el MCI para vehículos siniestrados en el CNS es una aproximación que sirve como base para futuras mejoras.

Hay varias suposiciones implícitas para el desarrollo de la metodología de cálculo del MCI, tal como lo expresan los creadores de la metodología:

- El indicador no favorece explícitamente los ciclos cerrados. Es decir, por ejemplo, que el material recuperado para reciclar no necesita volver al fabricante original
- Se supone que el material recuperado al final de su uso puede procesarse con una calidad similar a la del material virgen original.
- Se supone que no hay pérdidas importantes en la preparación de los productos recolectados para su reutilización.
- Se asume que todo el material es recirculado en ciclos técnicos; los ciclos biológicos no se tienen en cuenta.
- Se supone que la masa del producto no cambia desde la fabricación hasta el final de uso. En particular, esto significa que ninguna parte del producto se "consume" (por ejemplo, se come o se quema) durante su uso.

2.3.2. Tiempo del inventario que permanece en las instalaciones del CNS (TI)

¿Qué mide el TI?:

El TI mide el tiempo en días que permanecen en stock los materiales y partes que llegan al CNS después de desmantelar un vehículo siniestrado. Se sugiere hacer este cálculo semestral y anualmente.

Objetivo: Evaluar la rotación de materiales y partes para optimizar estos tiempos y lograr generar valor económico en el menor tiempo posible.

Metodología de cálculo:

Para la medición de este indicador es necesario conocer:

Fecha de desmantelamiento del vehículo (F1)

Fecha de venta del material o parte (F2)

La ecuación 12 presentan como calcular el TI.

$$TI = F_2 - F_1 \quad \text{Ecuación 12}$$

2.3.3. Valor Económico de materiales recuperados (VER)

¿Qué mide el VER?:

El VER mide el valor económico generado por los procesos de recuperación desarrollados en el CNS.

Objetivo: Evaluar para cada vehículo el valor económico que se genera al comercializar las partes y materiales recuperados en el proceso de desensamble. Esto permitirá conocer que vehículos (Marca-Familia) están generando mayor valor económico para las operaciones del CNS.

Metodología de cálculo:

Se propone calcular el VER en una base anual. De la siguiente manera:

1. Tomar datos del vehículo Marca-Familia-Modelo- Placa en el momento del desensamble
2. En el momento del desensamble del vehículo hacer un inventario detallado de las partes que se recuperan para comercialización directa como repuestos y los materiales que se venderán para ser reciclados.
3. Al término del año, contabilizar para cada parte y/o material recuperado:
Tiempo de inventario (TI)
Valor de ventas generadas (VV)

2.3.4. Ranking de vehículos de acuerdo con su MCI

Objetivo: Evaluar por Marca-Familia, el indicador de circularidad de materiales y ordenar de mayor a menor, para conocer que tipo de vehículos favorecen la recuperación de materiales al final de su vida útil.

Metodología:

1. Anualmente, agregar los datos de los vehículos clasificados por Marca-Familia así:
 - Peso total de los vehículos
 - Peso total de material recuperado para reutilizar
 - Peso total de material recuperado para reciclar
 - Tiempo de vida útil promedio
2. Con estos datos proceder a calcular el MCI por Marca-Familia.
3. Ordenar de mayor a menor MCI

3. Conclusiones

Las recomendaciones presentadas en este reporte sientan las bases iniciales para alinear la estrategia empresarial y de sostenibilidad del Centro Nacional de Salvamentos con los principios de la Economía Circular.

A pesar de que los cálculos de indicadores como el MCI son aproximaciones debido a que no se cuenta con información precisa y de primera mano como es el caso de materiales reciclados incorporados en la flota de vehículos siniestrados que entra al CNS, el establecimiento de este tipo de indicadores permite tener una visión global de como con las prácticas circulares del CNS se está mejorando el índice de circularidad de un vehículo que sin los procesos desarrollados por el CNS terminarían en rellenos sanitarios. Este índice también permitirá hacer análisis de como al minimizar el flujo de materiales lineal con procesos optimizados en el CNS se logra mejorar la circularidad de los vehículos.

Adicionalmente, se aprecia este indicador en el sentido que permitirá crear una base de datos por Marca-Familia-Modelo de vehículo con su respectivo MCI que será útil para comunicarlos a las grandes ensambladoras y poder explorar futuras alianzas para en conjunto mejorar este índice.

Por otro lado, dado que la Economía Circular está orientada a generar valor económico, social y ambiental es muy importante desarrollar indicadores que permiten evaluar la eficiencia de las operaciones de recuperación y valorización de materiales y partes, tales como los propuestos en este reporte. Esto permitirá justificar porque vale la pena invertir en prácticas circulares.

Finalmente, cabe aclarar que esta es una primera aproximación a la medición de indicadores circulares en el CNS y está sujeta a futuras mejoras y ser complementados con otros indicadores que puedan surgir en el tiempo.