

Revisión ambiental y estado actual de circularidad en la producción de refrescos. Estudio de caso

Environmental review and current state of circularity in soft drink production. Case study

José Francisco Torres Artiga^{1,2}, Miguel A. Díaz Marrero², Susana Díaz Aguirre³, Ania Cabrera Díaz⁴

¹UEB Refresco "Orlando Nodarse Verde", Empresa de Bebidas y Refrescos de Pinar del Rio

²Programa de maestría de Ingeniería Ambiental. Centro de Estudios de Ingeniería de Procesos (CIPRO), Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (Cujae)

³Universidad de Pinar del Rio, "Hermanos Sainz Montes de Oca"

⁴Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER), Facultad de Ingeniería Mecánica Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (Cujae)

*e-mail: ania@mecanica.cujae.edu.cu

Resumen

La supervivencia humana es uno de los mayores problemas ambientales actuales, por lo que la necesidad de preservar y contribuir al cuidado del medio ambiente adquiere un significado especial. Para detener la explotación acelerada e irracional de los recursos naturales, se elaboran políticas, planes, estrategias y se construyen indicadores. En este sentido, la fábrica de Refresco "Orlando Nodarse Verde", de la Empresa de Bebidas y Refrescos de Pinar del Rio trabaja en el diseño de un Sistema de Gestión Ambiental, aplicando enfoques de circularidad. El objetivo del presente trabajo es contribuir a la mejora de la evaluación del desempeño ambiental mediante una revisión ambiental en dicha organización evaluando el estado actual en que se encuentra la circularidad analizando diferentes aspectos ambientales. Se definieron los pasos metodológicos a seguir para el diagnóstico del comportamiento ambiental de la organización y se aplicaron diferentes herramientas y técnicas que permitieron analizar el estado actual de su desempeño ambiental. A partir de los resultados del diagnóstico se reformuló la política ambiental, se enriquecieron los criterios de evaluación de desempeño ambiental, se crearon nuevos objetivos, metas e indicadores medibles de circularidad y su vinculación con indicadores biofísicos de sostenibilidad, que se armonizaron entre sí.

Palabras clave: circularidad, diagnóstico ambiental, gestión ambiental, sostenibilidad.

Abstract

Humanity's survival is one of today's greatest environmental challenges, so the need to preserve and contribute to environmental care acquires a special meaning. To halt the accelerated and irrational exploitation of natural resources, policies, plans, and strategies are developed, and indicators are established. In this context, the "Orlando Nodarse Verde" soft drink factory, part of the Pinar del Rio Beverage and Soft Drink Company, is working on the design of an Environmental Management System, applying circularity approaches. The objective of this study is to contribute to improving the evaluation of environmental performance through an environmental review of this organization, assessing the current state of its circularity by analyzing various environmental

aspects. The methodological steps for diagnosing the organization's environmental behavior were defined, and different tools and techniques were applied to analyze the current state of its environmental performance. Based on the results of the diagnosis, the environmental policy was reformulated, the criteria for evaluating environmental performance were enriched, new objectives, goals and measurable indicators of circularity were created and linked with biophysical indicators of sustainability, which were harmonized with each other.

Keywords: circularity, environmental diagnosis, environmental management, sustainability.

1. Introducción

El ser humano ha proyectado su capacidad de dominio del medio en una larga carrera que le ha llevado de la lucha por la supervivencia al bienestar. En esa trayectoria las agresiones al medio ambiente configuran un capítulo que define la manera de concebir el desarrollo que ha venido presidiendo la acción del hombre de forma muy acentuada en la historia contemporánea. La tendencia mundial actual está dirigida hacia una nueva cultura ambiental en todos los sectores de la sociedad, que considera que el bienestar económico solo puede ser alcanzado unido a un manejo ambiental seguro [1].

Por esta razón las regulaciones nacionales e internacionales son continuamente mejoradas y comienzan a ser cada vez más rigurosas. Cada día se exige con mayor fuerza, que tanto empresas como productos sean amigables con el medio ambiente, por lo que la competitividad de las organizaciones y su supervivencia a mediano y largo plazo, exige la inclusión del factor ambiental en su gestión como única vía para tener acceso a mercados, proveedores y capital. Actualmente se trabaja en la asimilación de los sistemas de gestión integrados que tengan como punto de partida el enfoque de procesos, ya que permite optimizar el uso de recursos, fortalece la credibilidad, da mayor confianza del personal, contribuye al mejoramiento continuo [2].

En este sentido, el diseño de un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) se fundamentará en los requisitos establecidos a partir de la integración de las normas internacionales, las cuales poseen sus normas equivalentes cubanas, la NC-ISO 9001:2015 *Sistema de Gestión de la Calidad. Requisitos*, la NC-ISO 14001: 2015 *Sistemas de Gestión Ambiental - Requisitos con orientación para su uso* y la NC-ISO 45001: 2018 *Sistemas de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo - Requisitos con orientación para su uso*.

La norma NC-ISO 14001 del 2015 define que la alta dirección debe establecer, implementar y mantener una política ambiental dentro del alcance definido de su sistema de gestión ambiental, que:

- sea apropiada al propósito y contexto de la organización, incluida la naturaleza, magnitud e impactos ambientales de sus actividades, productos y servicios;
- proporcione un marco de referencia para el establecimiento de los objetivos ambientales;
- incluya un compromiso para la protección del medio ambiente, incluida la prevención de la contaminación, y otros compromisos específicos pertinentes al contexto de la organización;
- incluya un compromiso de cumplir con los requisitos legales y otros requisitos;
- incluya un compromiso de mejora continua del sistema de gestión ambiental para la mejora del desempeño ambiental.

La política ambiental debe mantenerse como información documentada; comunicarse dentro de la organización y estar disponible para las partes interesadas. Desde esta perspectiva, debe valorarse si la política ambiental definida por la organización cumple con lo estipulado en las normas y en los documentos anteriormente mencionados. Asimismo, la NC-ISO 14001:2015 define que el

desempeño ambiental está relacionado con la gestión de los aspectos ambientales y, en el contexto de un sistema de gestión ambiental, los resultados se pueden medir con respecto a la política ambiental de la organización, sus objetivos ambientales u otros criterios, mediante el uso de indicadores [3].

El Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba (CITMA) propone la Metodología para la obtención del Reconocimiento Ambiental Nacional (RAN) [4], como una herramienta para la revisión ambiental inicial o de seguimiento que permite a cualquier organización, satisfacer los requerimientos del RAN y a su vez facilitar la implementación del Sistema de Gestión Ambiental según NC-ISO 14001:2015. El diagnóstico ambiental permite realizar una valoración completa de la situación ambiental de la entidad en cuestión teniendo en cuenta las actividades que desarrolla, lo que permite entonces identificar los problemas ambientales derivados de estas y una correcta identificación y evaluación de los impactos ambientales asociados.

La Empresa de Bebidas y Refrescos de Pinar del Río, cuyo objeto social es la producción y comercialización de forma mayorista de bebidas y refrescos, se ha trazado dentro de sus objetivos la implementación de un Sistema de Gestión Ambiental en la fábrica de refrescos “Orlando Nodarse Verde”. La entidad debe determinar qué elementos requieren seguimiento y medición; los métodos de seguimiento, medición, análisis y evaluación, según corresponda, para asegurar resultados válidos; así como los criterios con los cuales la organización evaluará su desempeño ambiental y los indicadores apropiados. La norma cubana aclara que se seleccionan indicadores para evaluar el logro de los objetivos ambientales medibles y que es posible usar métodos cuantitativos o cualitativos con relación a una escala especificada para determinar si se ha alcanzado el objetivo ambiental. El presente trabajo persigue realizar una revisión ambiental que contribuya a la mejora de la evaluación del desempeño ambiental de la fábrica evaluando el estado actual en que se encuentra la circularidad analizando diferentes aspectos ambientales.

2. Metodología

Para identificar los aspectos relacionados con la evaluación del desempeño ambiental que se llevan a cabo en la entidad, se analizó el estado actual, lo que posibilitó detectar insuficiencias que podrían atentar contra una adecuada toma de decisiones. En este contexto se definieron tres pasos metodológicos a seguir, los cuales son los siguientes:

Paso 1: Analizar la política ambiental de acuerdo con los referentes internacionales y al contexto cubano.

Paso 2: Realizar el diagnóstico ambiental a través de la Metodología para la obtención del Reconocimiento Ambiental Nacional (RAN) [4], se utilizó una lista de chequeo basada en dicha metodología y se realizaron entrevistas a directivos, trabajadores del centro y partes interesadas; así como la revisión de documentos, compilación de información y la observación directa. También a partir del empleo de la metodología para alcanzar el RAN se evaluó la alineación de la organización con los principios y objetivos del desarrollo sostenible contemplados en el Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el 2030 (PNDES 2030) [5], y en la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) [6].

Paso 3: Proponer indicadores medibles de circularidad vinculados con indicadores biofísicos de sostenibilidad que puedan fortalecer las estrategias la gestión ambiental en la fábrica. Estos indicadores de circularidad estandarizados ayudan a cuantificar la eficiencia material, hídrica y energética, entre otras.

3. Resultados y Discusión

A partir de los tres pasos metodológicos definidos, se analizó la política ambiental de acuerdo con los referentes internacionales y al contexto cubano, se revisaron y actualizaron la misión, visión y objeto de la fábrica. Por otra parte, el diagnóstico ambiental se realizó través de la Metodología RAN [4]. Se explicitaron los aspectos más importantes que están presentes en el área de influencia de la entidad y dentro de la propia entidad, que tienen incidencia significativa en el desempeño ambiental. Se consideraron los aspectos económicos, el uso de los portadores energéticos, las condiciones higiénico-sanitarias, el empleo de productos químicos, la generación de residuos, entre muchos otros elementos. A estos aspectos se asociaron indicadores tales como el cumplimiento del plan técnico-económico y de los índices de consumo; el manejo de los productos químicos y de los residuos recuperables o reutilizables, la disponibilidad de medios de protección y el establecimiento de metas ambientales.

La evaluación del desempeño ambiental permite incidir en el progreso hacia los ODS y en el PNDES 2030; asegurando que las políticas y estrategias nacionales sean efectivas en la reducción de impactos ambientales y en la promoción de la sostenibilidad. Al evaluar la alineación de la fábrica de refrescos con los principios y objetivos del desarrollo sostenible contemplados en el PNDES 2030 y en los ODS; se identificaron los objetivos relevantes para la organización. En el caso de contemplados en el PNDES 2030, la fábrica se alinea con dos Ejes estratégicos “Recursos Naturales y Medio Ambiente” y “Transformación productiva e inserción internacional” [5]. En el caso de los objetivos relacionados con los ODS tributa a: agua limpia y saneamiento (ODS 6), energía asequible y no contaminante (ODS 7), la producción y consumo responsables (ODS 12), la acción climática (ODS 13), y la protección de los ecosistemas (ODS 15) [6].

Se identificaron y valoraron los principales aspectos e impactos ambientales generados por la entidad:

Uso del agua

En la fábrica el agua proveniente del acueducto se almacena en dos cisternas con una capacidad total de 350 m³, la cisterna 1 (190 m³) y la cisterna 2 (160 m³), esta última cercana al área de producción. Este recurso natural se bombea a dos tanques elevados de asbesto cemento ubicados uno en la cocina y el otro en las afueras de la planta de tratamiento de agua, ambos con una capacidad de almacenamiento de 1,87 m³; utilizados para distribuir el agua por gravedad a la cocina y a la estera de los pomos.

En el área de producción existen dos plantas de tratamiento de agua, las que también reciben el agua por bombeo desde las cisternas 1 y 2. En la primera planta de tratamiento existe un tanque con una capacidad de 10 m³, el que se utiliza para el refresco gaseado en pipa, para el tratamiento del agua se utiliza hipoclorito sódico (NaClO), cal (CaO) y alúmina (Al₂O₃). El agua tratada es enviada para su purificación a un filtro de arena y posteriormente a uno de carbón activado de donde sale el agua completamente libre de iones de cloro.

En la otra planta que es de ósmosis inversa se trata el agua para la producción de refrescos en bolsa, vaso y botella mediante un proceso secuencial que incluye: cloración (desinfección inicial), adición de bisulfito (neutralización del cloro residual para proteger membranas), y aplicación de secuestrante (aislamiento de iones que previene daños en el sistema). Esta agua tratada se utiliza también en el tanque de fabricación de jarabe simple (mezcla de agua y azúcar, a partir de la cual se produce el refresco gaseado o sirope). Paralelamente, un sistema independiente de ablandamiento

mediante intercambio iónico genera agua blanda para servicios auxiliares, destinada a la caldera, el compresor de refrigeración y la sopladora de botellas.

Se pudo evidenciar en la entidad un plan y el real de consumo para el uso eficiente de este recurso natural, se analizó el consumo de agua y como indicador de circularidad se propuso la tasa de reutilización del agua (TRH) [7, 8], según la ecuación 1:

- Consumo total de agua: 8 950 m³/mes.
- Agua tratada y reutilizada en limpieza o refrigeración: 2 800 m³/mes.

$$TRH = \frac{\text{Agua tratada y reutilizada}}{\text{Consumo total de agua}} \cdot 100 \quad (1)$$

El resultado indica que el 31,28 % del agua total consumida es reutilizada en procesos de limpieza o refrigeración, lo que refleja un uso significativo de recursos hídricos reciclados. Sin embargo, este indicador pudiera mejorar, para ello se incidiría en aumentar la proporción de agua reutilizada respecto al consumo total. Algunas acciones para reducir el consumo total estarían encaminadas a priorizar fugas en tuberías y equipos, esto disminuiría aproximadamente un 20 % del consumo; también revisar procesos ineficientes [7, 8].

Análisis del agua

En el tiempo evaluado se realizaron dos muestreos para la caracterización de las aguas mediante análisis fisicoquímico y microbiológico por laboratorios certificados dedicados a esta actividad (ENAST). Los puntos de muestreo fueron las entradas y salidas de las cisternas 1 y 2, en el bebedero, en la planta de ósmosis, en el filtro de carbón y en el tanque del comedor. En todos los casos para los análisis realizados: pH/Temperatura, Ca²⁺, Mg²⁺, CaCO₃, Cl⁻, NO₃, NO₂, Coliformes Totales (CT), Coliformes Termotolerantes (CTT), *Escherichia coli* (EC); todas las muestras cumplieron con los valores establecidos en la NC 827: 2017, *Agua Potable. Requisitos Sanitarios*. En los dos muestreos realizados los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, se encontraron por debajo del Límite Máximo Admisible (LMA) establecido en la norma NC 827: 2017.

Residuales sólidos

Los residuos sólidos generados en las actividades que se realizan en la unidad están compuestos por residuales no recuperables y residuales recuperables. Los residuales no recuperables de las oficinas y servicios sanitarios, juntamente con otros desechos generados, son depositados sin separar en depósitos con tapas ubicados a tales fines, se recogen diariamente y son colocados en el supiadero, el que se recoge dos veces por semanas para su transportación al vertedero municipal. Dentro de las oficinas y otros locales se cuenta con recipientes (cestos) para la recolección. La fábrica tiene implantado una política de recuperación y reciclaje constante. En este aspecto es válido proponer y analizar el indicador de circularidad relativo al porcentaje de materiales reciclados (PMR) [9, 10] en el envasado el cual se calculó según la ecuación 2:

$$PMR = \frac{\text{material reciclado en envases (kg)}}{\text{material total de envases (kg)}} \cdot 100 \quad (2)$$

La fábrica utiliza 420 kg de polietileno tereftalato (PET) al mes en envases de los cuales 93 kg/mes son reciclados, a partir de estos datos el PMR fue igual a 22 %, lo que refleja el avance hacia la circularidad.

Residuales líquidos

Los residuales líquidos generados por la instalación son del tipo doméstico e industriales, los cuales van a través de tuberías para el sistema de alcantarillado municipal. Los residuales domésticos, son de origen humano, característicos de la actividad socio administrativa, cumpliendo con lo establecido por las normas de NC 1074-2015, *Instalaciones sanitarias en interiores de edificios. Métodos de cálculo*. La red de tuberías para este tipo de residuales es de barro y se encuentra soterrada, no se evidencian residuales líquidos contaminantes derramados o vertidos, ni problemas sanitarios como tupición en las tuberías. Los residuales líquidos de tipo industrial no contaminan el medio ambiente, pues son mínimas las cantidades de productos químicos que se emplean en la fabricación del refresco.

Uso de sustancias agotadoras de la capa de Ozono

Existen equipos de refrigeración destinados para enfriar el agua de consumo de los trabajadores y mantener el estado de conservación de las esencias de los refrescos, también cuentan con aparatos de climatización en oficinas e industria. Generalmente este equipamiento está en buenas condiciones técnicas, a pesar de que algunos cuentan con años de explotación, en la tabla 5 se describe la técnica instalada en la fábrica.

Tabla 5. Gases refrigerantes utilizados

Cantidad	Descripción	Gas utilizado	Estado técnico
Equipos de Refrigeración			
1	Cámaras frías marca BITZER	R-22	Regular
1	Caja de agua marcas SECOP	R-22	Bueno
2	Refrigerador marca LG	R-134 a	Bueno
1	Bala CO ₂	R-22	Bueno
Equipos de Climatización			
3	GREE	R-22	Regular
2	LG	R-22	Bueno
1	PRESTIGE	R-22	Bueno
1	SANSUNG	R-22	Bueno
1	BEROTZ	R-22	Bueno
1	GOL ETAR	R-22	Bueno
1	DAWO	R-22	Bueno

El gas refrigerante empleado en la mayoría de los equipos de refrigeración es el R-22, que sí es agotador de la Capa de Ozono. Se trabaja en una política definida a nivel de la Empresa para la minimización y sustitución de estos tipos de sustancias, para cumplir lo que establece la Resolución No 127/2012, *Cronograma nacional para el control de las sustancias agotadoras de la capa de ozono*, publicada en la Gaceta Oficial de la República de Cuba, debiéndose sustituir un 10 % anual con una moratoria hasta el 2040.

Índices de calidad del aire

Para el análisis de calidad del aire se realizaron mediciones de las concentraciones de las sustancias nocivas en el aire, del material particulado, humedad y temperatura en el área de estudio durante el lapso de la evaluación. Las determinaciones se realizaron tomando 5 muestras por punto analizado (tabla 3) con el objetivo de obtener la caracterización de la exposición con la suficiente significación estadística. Las muestras fueron tomadas y analizadas mediante el equipo Aeroqual Series 500 *Handheld Instruments*. Este equipo utiliza sensores electroquímicos para la determinación de dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), sulfuro de hidrógeno (H₂S), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y los compuestos orgánicos

volátiles (COV), además de otros sensores para determinar el material particulado, la temperatura y la humedad relativa del aire.

Estas mediciones se contrastan contra los Límites Admisibles de Exposición Laboral (LAEL) establecidos en la norma cubana NC 872: 2011 *Seguridad y Salud en el Trabajo - Sustancias Nocivas en el Aire de la Zona de Trabajo - Evaluación de la Exposición Laboral - Requisitos Generales*. Las categorías de los Límites Admisibles de Exposición Laboral que se establecen en esta Norma Cubana son las siguientes: concentración promedio admisible (CPA), que refleja el límite de exposición referido específicamente a la concentración media ponderada de la sustancia nociva en el aire de la zona de trabajo durante todo el tiempo de la jornada laboral diaria; y concentración máxima admisible (CMA), que indica el límite de exposición referido específicamente a la concentración máxima absoluta en el aire de la zona de trabajo que no puede excederse en ningún momento de la jornada laboral diaria. El nivel de acción se establece cuando las lecturas rondan valores alrededor del 50 % de los valores límites admisibles de exposición correspondiente.

En las tablas 3 y 4 se reflejan los valores obtenidos de las mediciones, comparada con la NC 872: 2011 *Seguridad y Salud del Trabajo-Sustancias Nocivas en el Aire de la Zona de Trabajo*.

Tabla 3. Valores promedio de las concentraciones de los gases

Zona de muestreo	T aire (°C)	Humedad Relativa (%)	CO ₂ (mg/m ³)	NO ₂ (mg/m ³)	CO (mg/m ³)	SO ₂ (mg/m ³)	CH ₄ (mg/m ³)	NMHC (mg/m ³)
Almacén de Insumo	31,7	59,7	1 024	0,069	0,00	0,00	9,00	0,700
Cuarto de fabricación	31,9	60,6	1 012	0,070	0,00	0,00	8,00	0,300
Área del coral y fresquito	24,2	52,6	1 001	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Almacén de Producto Terminado	32,3	55,9	932	0,082	0,00	0,00	2,00	0,00
Sopladora de pomo	23,4	53,2	989	0,00	0,00	0,00	0,00	0,100
LAEL mg/m ³	---	---	9 000	5	20	5	---	---
CPA								
LAEL mg/m ³	---	---	18 000	10	100	10	---	---
CMA								

Los valores que se encuentran en la tabla 3 correspondientes a las mediciones realizadas presentan valores por debajo de las Concentraciones Máxima Admisible (CMA) que se establecen en la Norma Cubana NC 872: 2011.

Tabla 4. Material particulado

Zona de muestreo	Analito	Valores (µg/m ³)	Calificación
Almacén de Insumo, Materias Primas y Materiales	PM _{2,5}	10,0	Bajo
	PM ₁₀	14,0	Bajo
Cuarto de fabricación	PM _{2,5}	9,0	Bajo
	PM ₁₀	15,0	Bajo
Área del coral y fresquito	PM _{2,5}	8,0	Bajo
	PM ₁₀	19,0	Bajo

Almacén de Producto Terminado	PM _{2,5}	9,0	Bajo
	PM ₁₀	16,0	Bajo
Sopladora de pomo	PM _{2,5}	8,0	Bajo
	PM ₁₀	10,0	Bajo

PM₁₀: Material particulado inferior o igual a 10 µm

PM_{2,5}: Material particulado inferior o igual a 2,5 µm

Para el caso de las determinaciones realizadas con el sensor contador de partículas en las áreas donde se realizaron las mediciones, los resultados se encontraron por debajo de la concentración máxima admisible en la NC 1020: 2014 *Calidad del Aire -Contaminantes -Concentraciones Máximas Admisibles y Valores Guías en Zonas Habitables*. Como resultado de estas mediciones, se pudo determinar que la calidad del aire es buena.

Posteriormente se identificaron las acciones y los factores del medio que son impactados por el proceso de producción de refrescos, las acciones que impactan son: generación de residuos líquidos, generación de residuos sólidos, consumo de agua y consumo de energía eléctrica. Sin embargo, en estos diagnósticos se emplean pocos indicadores sensibles, es decir, indicadores críticos en términos de degradación ambiental y escasez de recursos [10]. En este sentido, la evaluación del desempeño ambiental en plantas embotelladoras de refrescos requiere indicadores de circularidad estandarizados que cuantifiquen la eficiencia material y energética.

Propuesta de indicadores de circularidad vinculados con indicadores biofísicos de sostenibilidad

El concepto de economía circular comprende una amplia gama de estrategias que buscan reducir el impacto ambiental de los sistemas de producción y los patrones de consumo mediante una mayor circularidad de los recursos. La circularidad se asocia principalmente con estrategias de eficiencia de materiales que cierran, ralentizan o estrechan ciclos, y se han desarrollado numerosas métricas de circularidad para evaluar la eficiencia de dichas estrategias [9]. La medición de estos indicadores en general contribuye a la toma de decisiones soportadas en datos; particularmente en la circularidad, los indicadores son los que contribuyen a medir el estado de aplicación de los principios de la economía circular de un producto, servicio o sistema. Estos ofrecen un sistema integral para transformar la gestión ambiental de los procesos, alineando la eficiencia operativa con regeneración ambiental. Su adopción no solo mitigará riesgos regulatorios, sino que generará valor circular tangible.

Los indicadores de impactos en el medio ambiente están relacionados con el uso y consumo de recursos naturales, así como con el impacto en los ecosistemas como producto del consumo de agua, energía, materias primas y suelo, y la generación de emisiones y residuos. En el presente trabajo se proponen indicadores que puede transformar la gestión ambiental del proceso, ejemplo de ellos son los propuestos por [11].

- Eficiencia energética con fuentes renovables (EER) (ecuación 3).

$$EER = \frac{\text{Energía renovable autogenerada (kWh)}}{\text{Energía total consumida (kWh)}} \cdot 100 \quad (3)$$

Las soluciones pudieran estar relacionadas con la instalación de tecnologías como paneles solares en techos de la fábrica, producción de biogás a partir de las aguas residuales.

- Tasa de retorno de envases (TRE) (ecuación 4).

$$TRE = \frac{\text{Envases recuperados (unidades)}}{\text{Envases vendidos (unidades)}} \cdot 100 \quad (4)$$

La TRE surge relacionada con la gestión de residuos sólidos, particularmente en polímeros de envases. La producción y la contaminación plástica mal gestionados tienen un efecto negativo en el medio ambiente, la justicia ambiental y el cambio climático [12]. Pottinger y col., [12] determinaron que la gestión inadecuada de residuos plásticos anuales casi se duplicará hasta alcanzar los 121 millones de toneladas métricas (Mt) para 2050 y que se proyecta que las emisiones anuales de gases de efecto invernadero (GEI) del sistema plástico aumenten un 37 %, hasta alcanzar los 3 350 millones de toneladas de CO₂ equivalente durante el mismo período. En este sentido proponen políticas que exijan que los nuevos plásticos producidos contengan un porcentaje mínimo de plástico reciclado, posconsumo seguro y respetuoso con el medio ambiente. Esta intervención redirige los residuos de otros destinos al final de su vida útil al reciclaje para alcanzar una cantidad mínima de producción de plástico secundario en la fabricación de nuevos productos. Lo anterior pudiera contribuir a las estrategias propuestas por Sonke y col., [13]; estos propusieron un modelo articulado tierra-océano-atmósfera para simular la dispersión global de plásticos y microplásticos para diferentes escenarios económicos con el objetivo de reducir la dispersión de residuos plásticos mal gestionados en entornos acuáticos heredados de la tierra.

Para el buen desempeño del indicador TRE pudiera implementarse el mecanismo de sistema de depósito-reembolso. En este sentido, Cuba se encuentra dando pasos en esta estrategia, así como en la de eliminación del plástico de un solo uso mediante la Resolución 96/2023 [14]. Los plásticos de un solo uso (PSU) son plásticos desechables que se producen con la intención de ser utilizados una sola vez antes de su eliminación. Para su eliminación total o parcial, se debe considerar una gestión integral, haciendo hincapié en las prácticas de reducción y reutilización, en lugar de limitarse al reciclaje. Se deben promover y subvencionar instalaciones de apoyo que promuevan continuamente la concienciación y la percepción de los beneficios de la reducción del PSU mediante la colaboración con el sector privado, como estaciones de recarga de agua, limpieza o desinfección para contenedores reutilizados instalados en el entorno construido, con una declaración de mantenimiento regular para fomentar la confianza de los consumidores en la seguridad [15].

Otros indicadores biofísicos de sostenibilidad son ampliamente utilizados para evaluar la gestión ambiental de los procesos. La huella hídrica (HH) aparece como una necesidad urgente de reforzar la gestión de las cuencas hidrográficas para garantizar la regeneración del recurso y evitar posibles amenazas al desarrollo y al crecimiento económico. Se pronostica que en 2030 el planeta se enfrentará a un déficit hídrico global del 40 %, al mismo tiempo la demanda mundial de agua para la producción industrial aumentará un 400 % para 2050, más que en cualquier otro sector [8]. Es por lo que la gestión del agua industrial es más importante que nunca, incluyendo el uso y la distribución del agua, así como la contaminación generada por todas las facetas de la producción.

La industria de bebidas aparece como uno de los procesos con impactos ambientales críticos en gestión hídrica, con una huella operativa y extendida que excede significativamente el volumen del producto final [8]. Dos de los principales indicadores de la "huella hídrica" utilizados a nivel mundial para evaluar y analizar el impacto industrial en los recursos hídricos son: (1) la herramienta de la Huella Hídrica de la Red de Huella Hídrica; y (2) la herramienta de la SO 14046: *Huella hídrica – Principios, requisitos y directrices*. Organización Internacional de Normalización, que incluye el uso del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) [8, 14]. Las metodologías de cálculo más utilizadas para el análisis de la huella hídrica permiten realizar la contabilización tanto del volumen (huella hídrica verde, azul y gris) como del impacto del uso de agua bajo el

concepto de ciclo de vida [16]. Como métrica la HH permite determinar en agua consumida (m^3) por litro de refresco producido, diferenciando agua azul, verde y gris [7].

La huella de carbono (HC) emerge como un indicador cuantitativo crítico para evaluar y mitigar los impactos ambientales en la industria de bebidas, al integrar las emisiones de GEI asociadas a su cadena de valor. Su aplicación sistemática a través de la ISO 14067:2018(es) *Gases de efecto invernadero - Huella de carbono de productos - Requisitos y directrices para cuantificación*, impulsa a mejoras medibles. Como métrica se emplea a través de Emisiones de GEI ($\text{kg CO}_2\text{eq}$) por unidad de producción y se puede calcular según la ecuación 5, implícitos en softwares de ACV como el *SimaPro* o el *OpenLCA*.

$$HC = \sum (\text{Emisiones de GEI por actividad}) \times \text{Factores de emisión} \quad (5)$$

Las emisiones de GEI muestran una dependencia crítica de los combustibles fósiles a lo largo del ciclo de vida, es por lo que la optimización del consumo de combustibles en calderas, la migración a energías renovables y la adopción de envases reciclados pudieran ser medidas que incidan en la disminución de la HC en el sector productivo.

La armonización de los indicadores de circularidad y sostenibilidad antes evaluados o propuestos pudieran contribuir a la evaluación objetiva de la gestión ambiental en la fábrica. Estos indicadores deben medir eficiencias operativas dentro de los límites de la planta, considerando: (1) los flujos industriales: la eficiencia en el uso de recursos (agua, energía, resina PET), (2) cerrar ciclos materiales: tasas de recirculación de agua y contenido reciclado en envases y (3) externalidades negativas: emisiones GEI por unidad funcional ($\text{kg CO}_2\text{eq}/\text{millón de botellas}$), y residuos no valorizables. Esta armonización se reflejaría al vincular los objetivos de circularidad, por ejemplo: aumentar un 20 % el uso de PET reciclado en 3 años; con indicadores biofísicos (reducir 15 % la huella de carbono asociada a envases).

4. Conclusiones

A partir de los pasos metodológicos definidos para el diagnóstico del comportamiento ambiental de la organización, se realizó la revisión ambiental y se evaluó el estado actual en que se encuentra la circularidad. Los principales resultados del diagnóstico ambiental realizado a través de la Metodología RAN reflejan los principales parámetros que tienen incidencia en el desempeño ambiental de la entidad. De los más relevantes vinculados por el tipo de producciones que realiza la fábrica se encuentran los referidos al uso del agua, específicamente lo relacionado con la calidad de esta, los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados se encontraron por debajo del LMA establecido en la norma NC 827: 2017. También con respecto a los índices de calidad del aire, las mediciones cumplen con los Límites Admisibles de Exposición Laboral establecidos en la norma cubana NC 872: 2011. Como acciones que impactan al medio se identificaron la generación de residuos líquidos y sólidos, el consumo de agua, el consumo de energía eléctrica y el empleo de gases agotadores de la capa de ozono. El diagnóstico permitió proponer y evaluar indicadores medibles de circularidad vinculados con indicadores biofísicos de sostenibilidad, adaptados a la industria de bebidas como la tasa de reutilización del agua (31,28 %), el porcentaje de materiales reciclados (22 %), entre otros. También se propusieron otros indicadores y la armonización entre ellos, lo cual se alinea con los objetivos de mejorar la evaluación del desempeño ambiental y cerrar ciclos de materiales, energía y agua.

Referencias

1. Salomão, C. M. (2018). Diseño del Sistema de Gestión Ambiental integrado al Sistema de Gestión Seguridad y Salud en el Trabajo existente en la Empresa de Bebidas y Refrescos de

- Villa Clara. Departamento de Ingeniería Ambiental. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. UCLV.
2. Orozco, C. (2022). Diseño de un sistema de gestión ambiental aplicado a una industria arrocera basado en la normativa ISO 14001:2015. Facultad de Ingeniería Química. Universidad de Guayaquil. Ecuador.
 3. Ellen MacArthur Foundation (2022). The Circular Economy in Beverage Packaging. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/global-commitment-2022-beverages-insights>.
 4. CITMA. Metodología para la ejecución de los diagnósticos ambientales, para la obtención del Reconocimiento Ambiental Nacional (RAN), 2022.
 5. Ministerio de Economía y Planificación de Cuba. (2017). *Plan Nacional de desarrollo económico y social hasta el 2030*. <https://www.mep.gob.cu/es/pndesods-2030/plan-nacional-de-desarrollo-economico-y-social-2030>.
 6. Naciones Unidas. (2015). *Objetivos y Metas de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>.
 7. Hoekstra, A.Y. (2024). Water Footprint Assessment in Supply Chains. In: Bouchery, Y., Corbett, C.J., Fransoo, J.C., Tan, T. (eds) Sustainable Supply Chains. Springer Series in Supply Chain Management, vol 23. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-45565-0_4.
 8. Diaz, L. (2021). Water footprint: A sustainability tool for industries. *Sustainable Industrial Water Use: Perspectives, Incentives, and Tools*, 333. https://doi.org/10.2166/9781789060676_0333.
 9. Van Hoof B., Núñez G.y de Miguel C., “Metodología para la evaluación de avances en la economía circular en los sectores productivos de América Latina y el Caribe”, serie *Desarrollo Productivo*, N° 229 (LC/TS.2022/83), ISSN: 1680-8754, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2022.
 10. Maia, R. G. T., & Junior, A. O. P. (2021). Eco-Efficiency of the food and beverage industry from the perspective of sensitive indicators of the water-energy-food nexus. *Journal of Cleaner Production*, 324, 129283. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129283>.
 11. Vinante, C., Sacco, P., Orzes, G., & Borgianni, Y. (2021). Circular economy metrics: Literature review and company-level classification framework. *Journal of cleaner production*, 288, 125090. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125090>
 12. Pottinger, A. S., Geyer, R., Biyani, N., Martinez, C. C., Nathan, N., Morse, M. R., ... & McCauley, D. J. (2024). Pathways to reduce global plastic waste mismanagement and greenhouse gas emissions by 2050. *Science*, 386(6726), 1168-1173. <https://doi.org/10.1126/science.adr3837>.
 13. Sonke, J. E., Koenig, A., Segur, T., & Yakovenko, N. (2025). Global environmental plastic dispersal under OECD policy scenarios toward 2060. *Science Advances*, 11(16), eadu2396. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adu2396>.
 14. Resolución 96/2023 “Reglamento para el trabajo en consumo y producción sostenibles, economía circular y la reducción paulatina de los plásticos desechables o de un solo uso” (GOC-2023-782-O87).
 15. Sedtha, S., Nitivattananon, V., Ahmad, M. M., & Cruz, S. G. (2022). The first step of single-use plastics reduction in Thailand. *Sustainability*, 15(1), 45. <https://doi.org/10.3390/su15010045>.
 16. Arias-Lafargue, T., Vázquez-Montero, E., & Loforte-Quesada, L. (2023). Determinación de la huella hídrica en el Complejo Hatuey de Santiago de Cuba. *Tecnología Química*, 43(3), 702-719.

Conflictos de Intereses

Los autores declaran que no hay conflicto de intereses.

Contribución de los autores

José Francisco Torres Artiga, <https://orcid.org/0000-0002-0748-1551>

Participó en la conceptualización, coordinación, recogida de información, análisis de datos, redacción del manuscrito.

Miguel A. Díaz Marrero, <https://orcid.org/0000-0001-7932-0979>

Participó en el diseño de la investigación, revisión-edición.

Susana Díaz Aguirre, <https://orcid.org/0000-0002-6338-7519>

Participó en la conceptualización, metodología y revisión del manuscrito.

Ania Cabrera-Díaz, <https://orcid.org/0000-0003-4831-9056>

Participó en la conceptualización, metodología y revisión-edición del manuscrito.