

# Mercado de carbono. Potencialidades para Cuba y la agroindustria azucarera

Yadaxy Alonso-Miranda\*, Javier Horta-García, Georgina Michelena-Álvarez

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca)

Vía Banca, No. 804 y Carretera Central. La Habana, Cuba

\* [yadaxy.alonso@icidca.azcuba.cu](mailto:yadaxy.alonso@icidca.azcuba.cu)

## RESUMEN

**Introducción.** Los mercados de carbono y la certificación de su huella son esenciales para combatir el cambio climático. Permiten cuantificar emisiones y comercializar créditos de carbono, que incentivan reducciones reales bajo el principio de adicionalidad.

**Objetivo.** Realizar un análisis integral del potencial de los mercados de carbono en Cuba, con énfasis en la agroindustria azucarera y explorar oportunidades económicas y ambientales, necesarios para una inserción justa, sostenible y estratégica en la economía global del carbono.

**Materiales y métodos.** Se revisó la evolución de los mercados de carbono, desde el Protocolo de Kioto hasta el Acuerdo de París, junto con estándares como el GHG Protocol y la norma ISO 14064. Se analizó un caso cubano en el central Argeo Martínez (2014-2016), que identificó la quema de caña como principal fuente de emisiones.

**Resultados y discusión.** Existen tensiones entre las metas climáticas y las limitaciones técnico-financieras de Cuba. Los mercados de carbono ofrecen financiamiento, pero con riesgos de inequidad. Medidas como la cosecha en verde reducen emisiones y mejoran resiliencia, que muestran sinergias entre mitigación y adaptación.

**Conclusiones.** Cuba es un actor climático proactivo. Los mercados de carbono pueden financiar la descarbonización azucarera, pero requieren transparencia y participación comunitaria. El éxito depende de innovación institucional, coordinación multinivel y acceso a financiamiento internacional.

**Palabras clave.** Mercado, carbono, huella.

## ABSTRACT

**Introduction.** Carbon markets and carbon footprint certification are essential in the fight against climate change. They make it possible to quantify emissions and trade carbon credits, incentivizing real reductions based on the principle of “additionality.”

**Materials and methods.** The study reviewed the evolution of carbon markets from the Kyoto Protocol to the Paris Agreement, along with standards such as the GHG Protocol and ISO 14064. A Cuban case study at the “Argeo Martínez” sugar mill (2014–2016) was analyzed, identifying cane burning as the main source of emissions.

**Results and discussion.** Tensions exist between Cuba’s climate goals and its technical and financial limitations. Carbon markets offer funding opportunities but carry equity risks. Measures such as green harvesting reduce emissions and enhance resilience, showing synergies between mitigation and adaptation.

**Conclusions.** Cuba is a proactive climate actor. Carbon markets can fund the decarbonization of the sugar industry but require transparency and community participation. Success depends on institutional innovation, multi-level coordination, and access to international climate finance.

**Keywords.** Market, carbon, footprint.

## INTRODUCCIÓN

En un mundo cada vez más comprometido con la lucha contra el cambio climático, los mercados de carbono emergen como uno de los instrumentos económicos más relevantes para impulsar la transición hacia modelos de desarrollo bajos en emisiones. Cuba, como estado insular en desarrollo, altamente vulnerable a los efectos del cambio climático, no solo ha asumido compromisos internacionales en el marco del Acuerdo de París, sino que posee un potencial significativo para integrarse, de manera estratégica, a estos mecanismos de financiación climática.

A diferencia de los enfoques tradicionales, basados en impuestos, los mercados de carbono operan bajo la lógica del comercio de derechos de emisión o créditos certificados de reducción, que crean incentivos económicos para que sectores productivos implementen tecnologías más limpias, mejoren su eficiencia energética y promuevan la conservación de ecosistemas. Para Cuba, este modelo representa una oportunidad dual: por un lado, puede acceder a flujos de financiamiento externo a través de la venta de créditos generados por proyectos de mitigación; por otro, puede dinamizar la modernización tecnológica de sectores clave, en especial la agroindustria azucarera, históricamente centro de su economía, pero con una elevada huella ambiental (1).

En este contexto, resulta fundamental analizar no solo el potencial técnico de reducción de emisiones, identificado en estudios como el del central Argeo Martínez, que señala la quema de caña como principal fuente de emisiones, sino también los factores habilitadores y limitantes que enfrenta el país. Entre estos destacan:

- La capacidad institucional y normativa para diseñar y operar sistemas de Medición, Reporte y Verificación (MRV) confiables, alineados con estándares internacionales.
- El acceso a tecnologías bajas en carbono y financiamiento para modernizar infraestructuras agroindustriales y energéticas.
- La integración de criterios de justicia climática, que aseguran que los beneficios de los mercados de carbono lleguen a las comunidades locales, agricultores y trabajadores y evitan la concentración de rentas y la exclusión.
- El papel de la innovación y la cooperación internacional, especialmente en áreas como la bioeconomía circular; la generación renovable, a partir de biomasa cañera y la producción de derivados de alto valor agregado con baja huella de carbono.

Además, la reciente evolución de los mercados de carbono, con el desarrollo de esquemas voluntarios de alta integridad y mecanismos cooperativos bajo el Artículo 6 del Acuerdo de París, abre nuevas ventanas para proyectos cubanos, en sectores como: energías renovables, manejo forestal sostenible, agricultura climáticamente inteligente y gestión de residuos agroindustriales.

Existen dos tipos principales: los mercados regulados y los mercados voluntarios. Un principio fundamental, especialmente en los mercados voluntarios, es la adicionalidad, que garantiza que las reducciones de emisiones de un proyecto no se habrían realizado sin los incentivos financieros proporcionados por la venta de créditos (2).

Sin embargo, la participación efectiva de Cuba en estos mercados no está exenta de dilemas. Desde el riesgo de que se conviertan en una “licencia para contaminar” sin transformaciones estructurales, hasta los desafíos de garantizar la adicionalidad real, la permanencia en proyectos de captura de carbono y la transparencia en la comercialización de créditos.

Esta conexión fortalece la integridad y eficacia del mercado de carbono y posibilita que las estrategias de mitigación climática sean medibles, confiables y económicamente viables (3).

Este trabajo busca, por tanto, sentar las bases para un análisis integral del potencial de los mercados de carbono en Cuba, con énfasis en la agroindustria azucarera como sector emblemático y busca, además, explorar tanto las oportunidades económicas y ambientales como los requisitos de

política, tecnología y gobernanza, necesarios para una inserción justa, sostenible y estratégica en la economía global del carbono.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Antecedentes

Los mercados de carbono se remontan a las primeras iniciativas internacionales para enfrentar el cambio climático y han evolucionado desde propuestas teóricas hasta convertirse en instrumentos económicos clave en la gobernanza climática global (4).

#### Orígenes en los acuerdos internacionales

- Protocolo de Kioto (1997). Estableció, por primera vez, mecanismos de mercado para la **reducción de emisiones**; creó los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) que permitían a países desarrollados financiar proyectos de reducción de emisiones en países en desarrollo (5).
- Acuerdo de París (2015). Consolidó y expandió los mecanismos de mercado a través del Artículo 6 y reconoció, explícitamente, el papel de los mercados de carbono en la implementación de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC) (5).

### Desarrollo de los mercados voluntarios

- Década de los 2000. Surgieron los primeros estándares independientes como Gold Standard y Verified Carbon Standard (Verra), que respondían a la necesidad de credibilidad y transparencia en los créditos de carbono voluntarios (6).
- Crecimiento corporativo. Las empresas comenzaron a usar, voluntariamente, los mercados de carbono como parte de sus estrategias de responsabilidad social corporativa y sostenibilidad (6).

### Evolución metodológica

- GHG Protocol (1998). Desarrollado por el Instituto de Recursos Mundiales y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible, se convirtió en el estándar global para contabilizar emisiones (7).
- ISO 14064 (2006). Estableció normas internacionales para cuantificación, reporte y verificación de GEI (7).

### Expansión sectorial y geográfica

- Enfoque forestal. Programas como REDD+ (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal) emergieron como mecanismos cruciales para países en desarrollo.
- Mercados regionales. Surgieron sistemas como el EU ETS (Sistema de Comercio de Emisiones de la UE) en 2005, el mercado de carbono más grande del mundo.
- América Latina. Países como México, Brasil y Colombia desarrollaron estrategias nacionales que incorporaron mercados de carbono (8).

### Casos de estudio temprano

- Industria azucarera. Estudios como el del central Argeo Martínez, en Cuba, (2014-2016) demostraron la aplicabilidad de la huella de carbono en sectores tradicionales e identificaron la quema de caña como principal fuente de emisiones (9).

- Proyectos comunitarios. Iniciativas como el Plan Vivo en Chiapas (México) mostraron la viabilidad de integrar a comunidades locales en mercados de carbono, mediante ordenamientos territoriales participativos (9).

## **Mercados de carbono: mecanismos y dilemas éticos**

### *Mecanismos de los mercados de carbono*

1. Mercados regulados
  - Sistema de tope y comercio: Los gobiernos establecen un límite máximo de emisiones (tope) y distribuyen permisos entre las empresas.
  - Comercio de derechos. Las empresas que emiten menos de su asignación pueden vender sus excedentes; aquellas que exceden su límite deben comprar permisos adicionales.
  - Ejemplos. Sistema de Comercio de Emisiones de la UE (EU ETS), mercados regionales en América del Norte (3, 8).
2. Mercados voluntarios
  - Estándares independientes. Organismos como Verra y Gold Standard certifican los créditos mediante metodologías validadas.
  - Proyectos elegibles. Incluyen reforestación, energías renovables, eficiencia energética y captura de metano (10).
3. Mecanismos de proyectos
  - Adicionalidad. Los proyectos deben demostrar que las reducciones de emisiones no hubieran ocurrido sin los ingresos por créditos.
  - Verificación Independiente. Auditores externos validan que los proyectos cumplan con los estándares requeridos.
  - MRV (Medición, Reporte y Verificación). Sistemas para cuantificar, reportar y verificar las reducciones reales de emisiones (11, 12).

### *Dilemas éticos fundamentales*

Uno de los principales dilemas es el riesgo de que se conviertan en una licencia para contaminar. El problema subyace en la posibilidad de que las empresas utilicen la compra de créditos de carbono como justificación para eludir la implementación de acciones concretas, que reduzcan sus emisiones en origen. Sin embargo, la evidencia empírica, como el estudio realizado por Sylvera contradice, en parte, esta noción, al demostrar que las empresas que participan en estos mercados mostraron una tasa de descarbonización de sus propias operaciones del 6.2 % anual, frente a un 3.4 % de aquellas que no adquirieron créditos. Esto sugiere que, en la práctica, la participación en los mercados de carbono puede correlacionarse con un mayor, y no menor, compromiso con la reducción interna de emisiones (12).

Un segundo dilema, quizás más profundo, se relaciona con la justicia climática y la equidad. Se manifiesta una clara asimetría, en la que los países desarrollados, principales responsables históricos de las emisiones, compensan su huella mediante proyectos ejecutados en países en desarrollo. Esta dinámica plantea serias cuestiones sobre la distribución justa de beneficios y cargas. Un ejemplo concreto se observa en mecanismos como REDD+, en los que existe el riesgo palpable de que las comunidades locales vean restringido su acceso ancestral a los recursos naturales, como bosques y tierras sin recibir, a cambio, una compensación que sea considerada justa, adecuada y culturalmente apropiada y que se perpetúen así dinámicas de desigualdad global (6, 13).

Uno de los problemas más significativos es la adicionalidad cuestionable de muchos proyectos. Este principio, fundamental para la credibilidad de los créditos, exige demostrar que las reducciones de emisiones no se habrían producido sin los incentivos financieros generados por la venta de cré-

ditos. Sin embargo, en la práctica, numerosos proyectos han recibido certificaciones por actividades que, muy probablemente, hubieran sido ejecutadas de todos modos por su rentabilidad inherente o por cumplir con regulaciones locales existentes, lo que diluye el impacto climático real de dichos créditos.

Otro problema estructural es la falta de permanencia garantizada, particularmente en proyectos basados en soluciones naturales como la reforestación o la conservación de bosques. El carbono capturado y almacenado en estos ecosistemas enfrenta constantes amenazas de ser liberado nuevamente a la atmósfera, a causa de incendios forestales, plagas, tala ilegal o cambios en el uso del suelo. Esta reversión potencial de los beneficios, ya sea por causas naturales o antropogénicas, representa un riesgo fundamental que socava la contabilidad climática a largo plazo (14).

Finalmente, el riesgo de doble contabilidad representa una falla de integridad crítica para los mercados. Este problema surge cuando una misma tonelada de CO<sub>2</sub>, reducida o capturada, es contabilizada simultáneamente por el país anfitrión del proyecto, para el cumplimiento de sus Contribuciones Nacionalmente Determinadas y por la entidad compradora del crédito, para compensar sus propias emisiones. La solución a este dilema requiere el desarrollo e implementación de sistemas de registro transparentes, interoperables y estandarizados a nivel internacional, junto con protocolos de reporte más estrictos, que permitan una trazabilidad inequívoca de cada crédito a lo largo de toda su cadena de valor (13).

## Medidas de mitigación en la industria azucarera cubana (9)

### 1. Reducción de la quema de caña

- Problema principal. Representó el 83.64 % de las emisiones en 2014-2015 (6 796 tCO<sub>2</sub>eq)
- Impactos adicionales:
  - Emisión de monóxido de carbono, hidrocarburos y óxido de azufre
  - Aumento de enfermedades respiratorias en comunidades aledañas
  - Degradación del suelo, por pérdida de carbono orgánico
- Medidas propuestas:
  - Transición hacia cosecha en verde (sin quema)
  - Mecanización de la cosecha para eliminar la necesidad de quema
  - Programas de incentivos para agricultores que eviten esta práctica

### 2. Optimización del transporte agrícola

- Problema: Representó el 16.35 % de emisiones en 2014-2015
- Actividades más contaminantes:
  - Corte mecanizado (494-726 tCO<sub>2</sub>eq)
  - Alza de caña (327-369 tCO<sub>2</sub>eq)
  - Transporte de obreros (244-280 tCO<sub>2</sub>eq)
- Medidas propuestas:
  - Optimización de rutas y logística
  - Mantenimiento preventivo de maquinaria
  - Renovación de flota vehicular con tecnologías más eficientes

### 3. Manejo sostenible de fertilizantes

- Problema: aunque representa solo entre 0.01 y 0.02 % del total, tiene alto potencial de mitigación
- Fertilizante más problemático: Urea (3.31 kg CO<sub>2</sub>eq/kg de N)
- Medidas propuestas:
  - Uso de fertilizantes de liberación lenta y controlada
  - Implementación de agricultura de precisión
  - Reducción de pérdidas por lixiviación y volatilización

#### 4. Aprovechamiento energético del bagazo

- Situación actual: Las emisiones por quema de bagazo se consideran neutrales en carbono
- Oportunidad de mejora:
  - Mejorar eficiencia de calderas y generadores de vapor
  - Reducir emisiones de CO por mejor control de combustión
  - Optimizar contenido de humedad del bagazo

### Impacto socioambiental

#### *Impactos ambientales y sociales negativos*

En el ámbito ambiental se identificó una contaminación atmosférica crítica; generada, principalmente, por la quema de caña, que en el central Argeo Martínez produjo emisiones de 6 796 t CO<sub>2</sub> eq (2014-2015) y 3 480 t CO<sub>2</sub> eq (2015-2016) y libero, además, monóxido de carbono, hidrocarburos y óxido de azufre, que contribuyen al calentamiento global y la formación de lluvia ácida. Esta práctica también generó una progresiva degradación de los suelos, mediante la pérdida de carbono orgánico, reducción de la fertilidad natural y aceleración de los procesos de erosión, debido al monocultivo continuo. Adicionalmente, se constató contaminación por fertilizantes con emisión de óxido nitroso, gas con un potencial de calentamiento 300 veces superior al CO<sub>2</sub>, junto con problemas de lixiviación de nitratos hacia aguas subterráneas y desequilibrio de nutrientes en el suelo (10).

Los impactos sociales negativos se manifestaron, principalmente, en problemas de salud pública, con aumento de enfermedades respiratorias como: bronquitis crónica, enfisema pulmonar y asma bronquial, que afectaron especialmente a niños y población colindante a los campos de caña. Las condiciones laborales precarias expusieron a los trabajadores, directamente, a humos y contaminantes durante la quema, a realizar trabajos intensivos en condiciones peligrosas, con prácticas ancestrales que afectaron la salud. Finalmente, se observó un impacto negativo en la calidad de vida de las comunidades, con contaminación del aire, limitaciones en el uso de tierras para otros cultivos y dependencia económica de un monocultivo (15).

#### *Aspectos positivos y potenciales*

Contrariamente a estos impactos negativos, la actividad azucarera mostró un balance de carbono parcialmente favorable, con capacidad de capturar 60 t/ha de CO<sub>2</sub> durante el crecimiento de la caña y emisiones netas de 42 t/ha, considerado el proceso industrial, lo que sugiere un potencial de neutralidad con mejoras tecnológicas. Socialmente, la industria constituyó una importante fuente de generación de empleo rural y proporcionó trabajo en zonas agrícolas, mano de obra local para operaciones de cosecha y procesamiento, y estabilidad económica para comunidades dependientes. Ambientalmente, destacó el aprovechamiento de subproductos, mediante el uso del bagazo como fuente renovable de energía, junto con el potencial para producir biocombustibles y otros derivados y estableció las bases para una economía circular dentro del proceso productivo (7).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el contexto global de crisis climática y transición energética acelerada, los mercados de carbono han dejado de ser una herramienta marginal para convertirse en un componente central de la arquitectura financiera internacional, orientada a la descarbonización. Para Cuba, país con una economía en desarrollo, altamente vulnerable a los efectos del cambio climático y comprometida con los principios de justicia climática, estos mercados representan mucho más que una oportunidad de financiamiento; son una palanca estratégica para impulsar un modelo de desarrollo sostenible, resiliente y socialmente inclusivo.

A diferencia de los mecanismos tradicionales de financiación climática, los mercados de carbono introducen una lógica de incentivos económicos basados en resultados, en los que cada tonelada de CO<sub>2</sub> reducida o capturada se transforma en un activo transable. Este enfoque resulta especialmente relevante para Cuba, dado el carácter descentralizado y multisectorial de sus potenciales proyectos de mitigación, desde la modernización de la agroindustria azucarera hasta la gestión sostenible de bosques y el despliegue de energías renovables.

## Potenciales sectores estratégicos para Cuba

### *Agroindustria azucarera: de emisor a generador de créditos verdes*

El sector azucarero cubano, históricamente generador de divisas, pero también de significativas emisiones de GEI, puede transformarse en un núcleo de innovación baja en carbono. Más allá de la sustitución de la quema de caña existen oportunidades no explotadas para generar créditos de carbono:

- Cogeneración eléctrica avanzada con bagazo. Modernización de calderas y turbinas para incrementar la eficiencia y exportar excedentes de electricidad renovable a la red nacional.
- Producción de biocombustibles de segunda generación (etanol celulósico). Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos para producir biocombustibles avanzados, con mercados de carbono que valoran la sustitución de combustibles fósiles.
- Biofertilizantes y agricultura regenerativa. Uso de subproductos de la caña para producir bioinsumos, que reduzcan el uso de fertilizantes sintéticos, fuente importante de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y aumenten el carbono orgánico del suelo.

### *Sector forestal y soluciones basadas en la naturaleza*

Cuba cuenta con una cobertura forestal en recuperación (alrededor del 31 % del territorio) y programas de reforestación históricos. Estos activos naturales pueden ser la base de proyectos bajo mecanismos como REDD+, siempre que se aseguren:

- Derechos de tenencia y participación comunitaria. Debe involucrar a campesinos, cooperativas y comunidades locales en la gestión forestal y la distribución de beneficios.
- Monitoreo con tecnología accesible. Uso de drones, sensores remotos y plataformas de código abierto para el MRV, para reducir costos y aumentar la transparencia.

### *Fuentes renovables de energía y eficiencia energética*

El Plan Nacional de Desarrollo hasta 2030 prioriza las fuentes renovables de energía. Proyectos de energía solar fotovoltaica, eólica y biogás podrían ser elegibles para generar créditos; especialmente si se integran en zonas rurales o industriales, con alto consumo de diésel o fueloil.

## Cooperación internacional y alianzas estratégicas

Cuba no debe actuar en solitario, puede aprovechar:

- Cooperación Sur-Sur. Intercambio de experiencias con países como Costa Rica (pagos por servicios ambientales), Uruguay (fuentes renovables de energía) y Vietnam (agroindustria baja en carbono).
- Alianzas con actores privados internacionales. Empresas con compromisos de carbono, que con neutralidad buscan créditos de alta calidad y con impacto social.
- Programas de financiamiento multilateral. Fondos Verdes del Clima, Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) y programas de la Unión Europea.

## **Enfoque de justicia climática y equidad**

La integración en mercados de carbono debe evitar reproducir desigualdades. Es crucial:

- Distribución justa de beneficios. Que las comunidades locales reciban porcentajes claros de los ingresos por créditos, mediante mecanismos como fondos comunitarios o reinversión en infraestructura social.
- Salvaguardas sociales y ambientales. Evaluaciones de impacto previas, consentimiento libre, previo e informado (CLPI) y monitoreo participativo.
- Enfoque de transición justa. Recalificación laboral para trabajadores de sectores en transformación, con énfasis en género y juventud.

## **Innovación y conocimiento local**

Cuba cuenta con capital científico y técnico, acumulados en centros como el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), el Instituto de Investigaciones Forestales y las universidades. Este conocimiento debe ser movilizado para:

- Desarrollar metodologías propias de cuantificación de carbono, adaptadas a ecosistemas y sistemas productivos cubanos.
- Crear plataformas digitales para la transparencia y trazabilidad de créditos.
- Fomentar emprendimientos verdes locales que puedan acceder a financiamiento carbono.

La implementación de estrategias de descarbonización en la industria azucarera cubana, ilustrada mediante el caso del central Argeo Martínez revela un conjunto de tensiones estructurales que deben ser abordadas para garantizar una transición justa y efectiva. Estas tensiones reflejan desafíos más amplios, que enfrentan numerosos países en desarrollo, al alinear sus sectores productivos con los compromisos climáticos globales.

## **Metas ambiciosas de Contribuciones Nacionalmente Determinadas (CND) vs. capacidades técnicas y financieras limitadas**

Cuba, como signataria del Acuerdo de París, ha establecido CND que exigen una reducción progresiva de emisiones de GEI. Sin embargo, la brecha entre estos compromisos y la capacidad real del sector azucarero es notable. Por un lado, existen oportunidades técnicas claras, como la sustitución de la quema de caña, responsable de más del 80 % de las emisiones del central estudiado, por la cosecha en verde, o la modernización de calderas y sistemas de transporte. No obstante, la inversión requerida para esta reconversión tecnológica supera, en muchos casos, la capacidad financiera de las empresas azucareras cubanas, afectadas por restricciones económicas estructurales y un parque tecnológico envejecido.

Esta tensión expone un dilema crítico: ¿cómo priorizar las inversiones en un contexto de recursos escasos? La respuesta podría estar en una planificación por fases, que comience con intervenciones de bajo costo y alto impacto, como optimizar el uso de fertilizantes o mejorar el mantenimiento de la maquinaria, mientras se movilizan recursos internacionales, a través de cooperación técnica o fondos climáticos para proyectos de mayor escala, como la mecanización de la cosecha.

## **Potencial de los mercados de carbono vs. riesgos de inequidad distributiva**

Los mercados de carbono, tanto regulados como voluntarios, representan una fuente potencial de financiamiento para la descarbonización del sector. Proyectos de eficiencia energética, cogeneración con bagazo o reducción de la quema de caña podrían generar créditos transables, que atraigan inversión verde. Sin embargo, este potencial conlleva riesgos significativos de inequidad.

En primer lugar, existe el peligro de que los beneficios económicos se concentren en intermediarios o en las propias empresas, sin que las comunidades locales, especialmente, los agricultores cañe-

ros y trabajadores reciban una participación justa. En segundo lugar, la adicionalidad exigida por los estándares de carbono puede excluir, precisamente, a los actores con menos recursos, que no cuentan con la capacidad para demostrar que sus proyectos no se habrían realizado de todos modos. Finalmente, existe el riesgo de que la lógica del mercado desincentive la reducción de emisiones en origen, si las empresas optan por compensar en lugar de transformar sus procesos.

Para evitar estos riesgos, es esencial desarrollar marcos de gobernanza local que aseguren la distribución equitativa de beneficios, prioricen la participación comunitaria en el diseño de proyectos y vinculen la venta de créditos con mejoras tangibles en la calidad de vida de las poblaciones afectadas.

### **Sinergias entre adaptación climática y desarrollo industrial: más allá de la mitigación**

Un análisis integral del sector azucarero revela que muchas medidas de mitigación también fortalecen la adaptación climática y la competitividad industrial. Por ejemplo:

- La cosecha en verde no solo reduce emisiones, sino que también conserva la humedad del suelo, mejora su contenido de materia orgánica y reduce la vulnerabilidad ante sequías.
- La cogeneración eficiente con bagazo aumenta la autonomía energética de los centrales, reduciendo su dependencia de combustibles fósiles importados y mejorando su resiliencia ante crisis externas.
- La diversificación productiva por ejemplo, hacia biocombustibles o productos de mayor valor agregado (12) puede reducir la vulnerabilidad económica del sector ante la volatilidad del precio del azúcar.

## **CONCLUSIONES**

1. Se identificó que Cuba desempeñó un papel dual en el escenario climático global, al consolidarse como un actor proactivo en la gobernanza climática internacional y, al mismo tiempo, funcionar como un laboratorio de innovación en sostenibilidad industrial, alineando sus políticas nacionales con los compromisos adquiridos en el Acuerdo de París.
2. Se reconoció el potencial de los mercados de carbono como herramienta de financiamiento para la descarbonización del sector azucarero, aunque se destacó que su implementación requirió de estándares de integridad ambiental que garantizaran la adicionalidad y evitaran el greenwashing.
3. Se consideró crucial la implementación de mecanismos de seguimiento y evaluación para monitorear los impactos distributivos de las medidas de mitigación, con el fin de evitar que se profundizaran desigualdades socioeconómicas entre los actores involucrados, como trabajadores, comunidades locales y agricultores.
4. Se demostró que las medidas de mitigación, como la eliminación de la quema de caña, generaron sinergias entre adaptación climática y competitividad industrial, lo que contribuyó a la sostenibilidad del sector a largo plazo.
5. Se concluyó que el éxito de la transición baja en carbono del sector azucarero dependió de la capacidad para desarrollar arreglos institucionales innovadores que facilitaran la coordinación multinivel, la participación comunitaria y el acceso a financiamiento climático internacional.
6. Los mercados de carbono ofrecen a Cuba una oportunidad histórica para alinear sus metas climáticas con un proyecto de desarrollo soberano, tecnológicamente innovador y socialmente justo. Sin embargo, este camino requiere de una voluntad política sostenida, una arquitectura institucional robusta y una participación social activa. No se trata solo de vender créditos, sino de catalizar una transformación estructural baja en carbono, que sitúe a Cuba como referente de sostenibilidad en el Caribe y en el Sur Global.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Piris Ca, P.; Lubowski, R.N.; Leslie, G. Estimating the potential of international carbon markets to increase global climate ambition. *World Development*. 2023;167.
2. Eguren, L. El mercado del carbono de América Latina y el Caribe, Balance y perspectivas. CEPAL. 2004.
3. Pellat, F.P. Mercado del Carbono: Gobernaza, Dilemas Sociales ,MRV,y Estrategias de Mitigación. *Elementos para Políticas Públicas* 2019;3(2).
4. Hernández, Y.R. Diagnóstico ambiental de la industria azucarera Jesús Rabí [Tesis para optar el título de ingeniero químico]. Cuba: Universidad de Matanza Camilo Cienfuegos; 2011.
5. Paniagua, C.F.O. Cambio Climático y Agricultura en Michoacán. México: Universidad Michoacán de San Nicolás de Hidalgo; 2011.
6. Trujillo, J.M. Impacto Ambie de la Actividad Azucarera y Estrategias de Mitigación. México: Universidad Veracruzana; 2011.
7. Yzaguirre, I.M.C. Estimación de la Huella del Carbono, utilizando la metodología GREENHOUSE Gas Protocol y La Norma ISO. Perú: Universidad Científica del Sur; 2023.
8. Rivas, D.M. Las certificaciones y los sellos de calidad en el ámbito de la sostenibilidad [Trabajo de Fin de Grado en Administración y Dirección de Empresas.]. España: Universidad Valladolid; 2020.
9. Reinoso-Valladares, M. Huella de carbono en la industria azucarera. Caso de estudio. Cuba: Universidad tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría 2018.
10. Calderón, M.D. El mercado de carbono en Colombia como instrumento para la toma de medidas frente al cambio climático: marco teórico, régimen legal y problemáticas. *Revista IUSTA* 2022;57:226-65.
11. Vila. A. Medidas para Combatir el Cambio Climático y su Impacto. Asociación de Azucareros en Guatemala 2022.
12. Lastra. N.R. Análisis de los Mercado de Carbono y su Internalización España: Universidad Pontificia; 2023.
13. Loman, L. Mercado del Carbono: La neoliberalización del clima. Fundación Rosa Luxemburg. 2012.
14. Goyanes, J.C. Diseño y validación de un procedimiento de cálculo de la huella de carbono en una administración local [Tesis para optar por el grado de Doctor]. España: Universidad Miguel Hernández De Elche; 2013.
15. Ministerio de Agricultura A y MA. Cómo Acceder al Registro de la Huella de Carbono, Compensación y Proyecto de absorción de CO2. anavam. 2015.