



DOCENTES DE ADMINISTRACIÓN FINANCIERA

45 Jornadas Nacionales de Administración Financiera
Septiembre 18 y 19, 2025

El impacto de las plataformas de carbono P2P en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero

Anahí Briozzo

Universidad Nacional del Sur

Mario Luis Perossa

Universidad de Buenos Aires

SUMARIO

1. Introducción
2. Metodología
3. Resultados
4. Conclusiones

Para comentarios:
abriozzo@uns.edu.ar
marioperossa@yahoo.com.ar

Resumen

Los mercados de créditos de carbono son sistemas diseñados para incentivar la reducción de emisiones de gas efecto invernadero, al asignar un valor económico a cada tonelada de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) evitada o removida de la atmósfera. A través de estos mercados, gobiernos, empresas y particulares pueden comprar y vender créditos de carbono, cada uno equivalente a una tonelada de CO₂. Los créditos pueden comercializarse en mercados regulados o voluntarios, encontrándose entre estos últimos los mercados peer-to-peer (P2P). En este caso, las transacciones se realizan directamente entre las partes (comprador y vendedor), sin intermediarios formales.

Se analiza el impacto de los mercados de carbono P2P en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Se realiza una búsqueda de literatura en bases académicas (SCIELO, DOAJ y Science Direct), así como mediante plataformas de inteligencia artificial generativa (ChatGPT, Elicit, DeepSeek y Gemini). Mediante estas herramientas se realiza una revisión de antecedentes vía noticias y páginas web de plataformas de carbono P2P. El análisis de la información recabada indica que los mercados P2P pueden promover una asignación más eficiente y flexible de recursos para la reducción de emisiones, aunque su verdadero impacto climático es actualmente difícil de cuantificar con precisión.

1. Introducción

La preocupación de la ONU por los efectos del cambio climático se concreta en 1992 en Río de Janeiro con la firma de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), donde se reconoce el principio de responsabilidad común pero diferenciada, correspondiente a las diferencias de crecimiento entre los países desarrollados y aquellos en vías de desarrollo. A posteriori, en 1997, y durante la Tercera COP (Conferencia de las Partes) celebrada en Japón, se firma un nuevo documento conocido como el Protocolo de Kyoto (PK), donde los países desarrollados y algunos con economías en transición (llamados países Anexo I) se comprometen a reducir sus emisiones de Co₂e tomado como base las emisiones informadas correspondientes a 1990, a cumplir en el primer período de compromiso. El compromiso que se asume es por regiones, en segundo orden los países que integran cada región y en tercer orden las empresas que en sus procesos productivos generan gases de efecto invernadero.

Una vez firmado el Protocolo de Kyoto y alcanzados los Acuerdos de Marrakech, tuvieron que pasar varios años para que los mismos pudieran ser ratificados por los distintos países. Recién con la ratificación del PK por parte de Rusia se pudo plasmar en hechos concretos – obligaciones de reducción de emisiones para los países industrializados- los esfuerzos llevados a cabo por la ONU.

En el mismo PK se considera que cuando un país (que es quien está obligado a cumplir con las metas de reducción asumidas en el Compromiso) no puede realizar las mismas por sí mismo, pueda acudir a alguno de los tres mecanismos llamados de flexibilización siguientes:

- Comercio de derechos de emisión: compra de derechos de emisión (AAU's) a otros países integrantes del Anexo I, y a quien le sobran bonos (por ejemplo, Rusia);
- Implementación conjunta: realizar planes de reducción de emisiones en otros países también del Anexo I y de esta manera obtener certificados por reducciones;
- Mecanismo para un desarrollo limpio: como última posibilidad, una empresa o país Anexo I puede realizar inversiones en países No Anexo I con transferencia de tecnología limpia que resulte en menores emisiones comprobables y por las cuales luego de certificarlas por una tercera parte independiente se puedan recibir certificados de reducciones de emisión (CER's).

A partir de allí se comenzó a gestar el *mercado de carbono* debido a las expectativas de necesidades de permisos de emisión de los países integrantes del Anexo I.

En el referido Protocolo se señala que los gases detallados en tabla 1 son los más perjudiciales por su efecto invernadero (estos gases son los que se encuentran expresados en el Anexo A del Protocolo de Kyoto).

Tabla 1. Gases de efecto invernadero reconocidos y su potencial como CO₂e

<i>Gases</i>	<i>Permanencia en la atmósfera</i>	<i>Fuentes de emisión</i>	<i>Potencial de calentamiento global</i>
Dióxido de carbono	500	Quema de combustibles fósiles	1
Metano	7 a 10	Producción y quema de combustibles fósiles. Agricultura, ganadería y manejo de residuos.	21 a 23
Óxido nitroso	140 a 190	Quema de combustibles fósiles, agricultura, explotación de la tierra.	230 a 310
Perfluoro nitroso	65 a 110	Actividades industriales (refrigeración, aerosoles, espumas plásticas)	6.200 a 7.100
Hidrofluoro carbono	12	Actividades industriales (refrigerantes líquidos)	1.300 a 1.400
Hexafluoruro de azufre	3.200	Actividades industriales (aislante eléctrico)	23.900

Fuente: Protocolo de Kyoto, CCNUCC, ONU.

Para unificar un sistema de medición de los créditos, se determina a la unidad como dióxido de carbono equivalente por su poder de calentamiento global, de esta forma es usual que al destruir 1 tn de metano se generen 21 certificados de CO₂e.

La República Argentina aprobó la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático y ratificó el Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (PK) mediante leyes del Congreso.

Las leyes anteriormente citadas se complementan con los siguientes decretos del Poder Ejecutivo Nacional:

Decreto P.E.N. N° 822/1998: Creación de la Oficina Argentina de Implementación Conjunta.

Decreto P.E.N. N° 481/2000: Memorando de entendimiento con el Banco Mundial.

Decreto P.E.N. N° 2213/2002: Designación de la Secretaría de Ambiente y desarrollo Sustentable como Autoridad de Aplicación de la ley N° 24295.

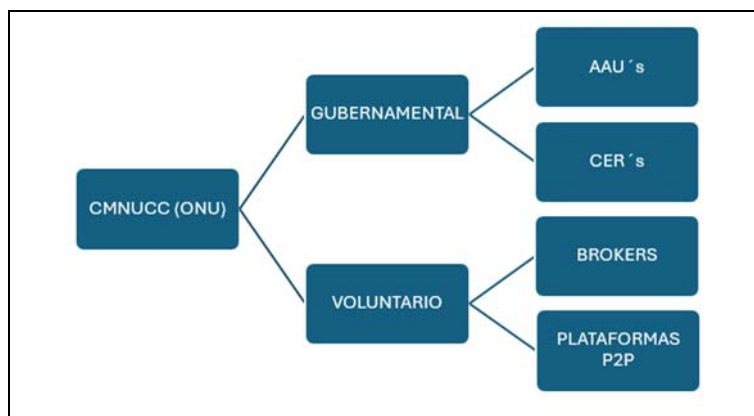
Decreto P.E.N. N°: 1070/2005: Creación del Fondo Argentino del Carbono.

Una serie de resoluciones y una disposición completan el marco jurídico reglamentando normas de procedimiento para la evaluación de proyectos (Res. N° 825/2004), aprobación del mecanismo de consulta previa (Res. N° 239/2004), creación del registro de instituciones evaluadoras correspondientes al MDL (Res. N° 435/2002), etc.

A partir de esta batería de leyes y resoluciones se iniciaron los mercados de carbono regulados en la Argentina y comenzaron a gestarse los proyectos del *mecanismo de desarrollo limpio*, con la consiguiente captura y destrucción de CO₂ equivalente que aún hoy siguen capturando y generando CER.

Resumiendo, los mecanismos de fijación de precios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) desarrollados a partir del Protocolo de Kioto y Acuerdo de París dieron origen a los mercados de carbono (PWC, 2023). Los mercados de carbono son sistemas diseñados para incentivar la reducción de emisiones de GEI al asignar un valor económico a cada tonelada de dióxido de carbono (CO₂) evitada o removida de la atmósfera. A través de estos mercados, gobiernos, empresas y particulares pueden comprar y vender créditos de carbono, cada uno equivalente a una tonelada de CO₂. Los participantes del mercado de carbono son los emisores de certificados de carbono (entidades, organizaciones, gobiernos), que generan créditos de carbono a través de proyectos de reducción o eliminación de emisiones. Por otro lado, están los compradores (empresas, organizaciones, gobiernos y personas), que desean compensar sus emisiones de carbono mediante la adquisición de créditos verificados de carbono (BYMA, 2025).

Ilustración 1: Esquema del mercado de créditos de carbono



El ciclo de vida de un crédito de carbono comienza con el diseño y registro de un proyecto que busca reducir o eliminar emisiones de gases de efecto invernadero. Una entidad independiente valida que el proyecto cumpla con los estándares establecidos. Una vez verificadas y aprobadas las reducciones de emisiones, se emiten créditos de carbono y se inscriben en un registro público (por ejemplo, Verra, Gold Standard, Climate Action Reserve y el American Carbon Registry). Estos registros crean y serializan los créditos, documentan la información del proyecto y garantizan que cada unidad sea única, evitando la doble contabilización. Los créditos pueden comercializarse en mercados voluntarios o regulados, siendo vendidos directamente por el desarrollador del proyecto o a través de intermediarios. Solo cuando el comprador los utiliza para compensar emisiones, el crédito es marcado como retirado en el registro, asegurando que no pueda revenderse ni reutilizarse (Business Connection, 2024).

Los *mercados regulados* responden a regímenes obligatorios nacionales, regionales o internacionales de reducción de carbono. En estos mercados, las entidades reguladas obtienen y entregan derechos de emisión para cumplir con los objetivos reglamentarios ambientales pre-determinados de reducción de GEI. En cambio, los *mercados voluntarios de carbono* satisfacen la demanda de créditos fuera de los esquemas regulados y permiten la compra y venta de créditos que se emitan en el marco de proyectos que logren la reducción o eliminación de emisiones (BYMA, 2025). A nivel nacional, Bolsas y Mercados Argentinos (BYMA) tiene desde octubre 2024 un Panel de Mercado Voluntario de Carbono.¹ Adicionalmente, en junio de 2025 se lanzó la Bolsa Argentina de Carbono, en asociación con AirCarbon Exchange (ACX) y Lockton. Ambas iniciativas operan como mercados voluntarios de carbono.

Entre las distintas formas de organización de los mercados voluntarios, surgen los mercados de carbono peer to peer (P2P), donde las transacciones se realizan directamente entre las partes (comprador y vendedor), sin intermediarios formales como brokers, exchanges o plataformas centralizadas. En este contexto, el objetivo de este trabajo es analizar el impacto de los mercados de carbono P2P en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Para desarrollar esta investigación se lleva a cabo una búsqueda de literatura en bases académicas (SCIELO, DOAJ y Science Direct), así como mediante plataformas de IAG (ChatGPT, Elicit, DeepSeek y Gemini). Asimismo, mediante las herramientas de IAG se realiza una revisión de antecedentes vía noticias y páginas web de plataformas de carbono P2P.

2. Metodología

Se realizó una revisión de la literatura basada en dos etapas de búsquedas. Primero, en bases académicas (Scielo, DOAJ, Science Direct) en junio 2025 con los términos “P2P AND carbon AND impact”, tanto en inglés como en castellano. Los resultados fueron: Scielo (0), DOAJ (6) y Science Direct (140). A partir de estos resultados se leyeron títulos y resúmenes a fin de seleccionar aquellos trabajos que abordaban efectivamente el tema de interés.

La segunda etapa de la búsqueda consistió en consultar en las plataformas ChatGPT, Deepseek, Elicit y Gemini con el siguiente prompt: “¿Cuál es el impacto de los mercados de

¹ BYMA proporciona un ámbito de negociación de Créditos de Carbono por fuera de la Oferta Pública. La Comisión Nacional de Valores no es autoridad de aplicación, control ni supervisión en este ámbito.

carbóno P2P sobre las emisiones de gases efecto invernadero? Contestar brindando referencias a trabajos académicos noticias publicadas”. Esta primera consulta permitió identificar la dificultad de acceder a información centrada en mercados de carbóno P2P, dado que los mismos son un subconjunto de los *mercados voluntarios de carbóno*, encontrándose información agregada sobre los mismos.

Las referencias propuestas por estas plataformas de IAG fueron verificadas y analizadas a partir de sus fuentes originales. En el relevamiento de las referencias y contenidos identificados via herramientas de IAG se observó que en algunos casos las referencias eran incorrectas o los documentos mencionados no existían o ya no estaban disponibles.

A fines de identificar los mercados P2P de carbóno, se realizó posteriormente en las plataformas IAG previamente indicadas el siguiente prompt: “Armar una tabla de los mercados de carbóno P2P que existen, con su año de inicio, país de origen y link de acceso”. Las respuestas obtenidas fueron cruzadas entre las distintas plataformas a fines de generar críticas constructivas. La información obtenida fue verificada y ampliada en el sitio web de cada plataforma P2P.

3. Resultados

3.1 Impactos declarados en las emisiones de carbóno

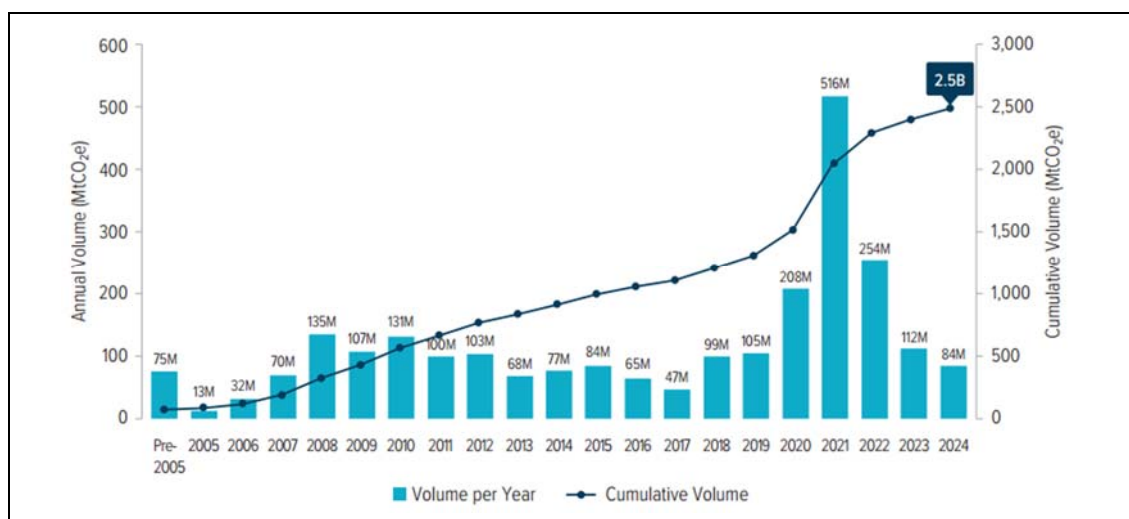
Una primera fuente de estimaciones de reducción en las emisiones de carbóno proviene de lo que declaran y certifican los mismos mercados. Se presenta en primer lugar información a nivel general sobre los mercados voluntarios de carbóno.

Como puede observarse en la ilustración 2, a nivel global en 2024 se registró el tercer año consecutivo de caída en el volumen de transacciones en el mercado voluntario de carbóno después del pico del año 2021. El valor total del mercado cayó 29 %, alcanzando los 535 millones de dólares, un nivel similar al de 2020. Sin embargo, ese valor se alcanzó con la venta de solo 84 millones de toneladas de CO₂e (MtCO₂e), que representa 40 % del volumen de transacciones de 2020.

A pesar de la caída en la emisión y volumen de transacciones, el volumen de créditos retirados (es decir, efectivamente utilizados para compensar emisiones) se ha mantenido estable, lo que sugiere que la demanda estructural por créditos de carbóno sigue presente, aunque la liquidez del mercado está limitada. Como consecuencia, los precios de los créditos se han mantenido estructuralmente más altos en los últimos tres años. En 2024, el precio promedio de transacción fue de 6,37 dólares, más del doble del precio promedio en 2020 (Ecosystem Marketplace, 2025).

La ilustración 3 muestra cómo se desarrollan los períodos de espera desde el registro de los proyectos hasta la emisión de créditos, su venta y, finalmente, su retiro. Observando el final del ciclo de vida de los créditos, en 2024 se retiraron 180 millones de créditos, con una disminución respecto de los 188 millones retirados en 2023. La mayoría de las categorías de proyectos experimentaron una disminución en el volumen de créditos retirados, incluyendo la energía renovable, que fue la categoría más comúnmente retirada, con 67 millones de créditos en 2024 frente a 80 millones en 2023.

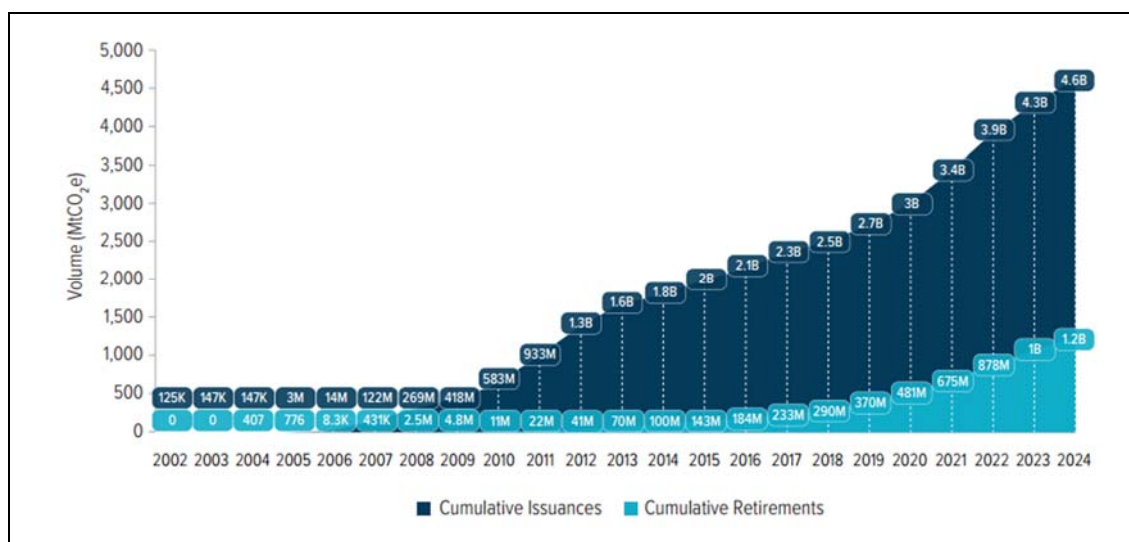
Ilustración 2: Tamaño en volumen del mercado voluntario de créditos de carbono (pre-2005 a 2024)



Nota: Volumen medido en MtCO₂e (millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente).

Fuente: Ecosystem Marketplace (2025), p. 7

Ilustración 3. Emisiones y retiros de créditos acumulados en mercados voluntarios



Nota: Volumen medido en MtCO₂e (millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente).

Fuente: Ecosystem Marketplace (2025), p. 10

Al considerarse la distribución y evolución por región geográfica, puede observarse (tabla 2) que Latinoamérica y el Caribe reúnen aproximadamente 30% del volumen en el 2023-2024.

A fin de poder identificar el impacto particular de las plataformas P2P es necesario conocer primero qué tipos de mercados pueden encontrarse en el ecosistema voluntario (Tabla 3). La

teoría de los costos de transacción es especialmente relevante para estudiar las interacciones P2P, porque ofrece un marco estructurado para examinar cómo las tecnologías descentralizadas pueden alterar las estructuras tradicionales de costos, reducir el papel de los intermediarios y transformar los intercambios económicos (Tanveer *et al.* 2025).

Tabla 2. Tamaño en volumen del mercado voluntario de créditos de carbono por región

<i>Región</i>	<i>Volumen 2023</i>	<i>Volumen 2024</i>	<i>Variación %</i>
Latinoamérica y Caribe	23.2	14.6	-37%
Norteamérica	20.8	13.6	-34%
Asia	17.1	9.2	-46%
África	13.8	7.2	-48%
Europa	0.5	0.7	33%
Oceanía	0.06	-	-

Nota: Volumen medido en MtCO₂e (millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente).

Fuente: Ecosystem Marketplace (2025), p. 19

Tabla 3. Tipos de mercados voluntarios de carbono

<i>Tipo de mercado</i>	<i>Características</i>	<i>Ejemplos</i>
Exchange (mercado organizado)	Plataformas con reglas estandarizadas, libro de órdenes, precios transparentes y participantes registrados. Alta liquidez	AirCarbon Exchange (ACX)
Over the counter (OTC)	Brokers intermedian acuerdos bilaterales entre partes. Las condiciones se negocian, pero hay un intermediario especializado que gestiona la operación.	Pachama CarbonX – ClimeFi
Marketplace digital simple	Interfaz digital donde usuarios compran créditos. No negocian condiciones ni acceden a la contraparte directamente. La plataforma intermedia la experiencia.	KlimaDAO's frontend Pachama (en modo e-commerce)
Híbrido institucional	Combinan estructura de exchange tradicional o institucional con plataformas digitales, trazabilidad y en algunos casos tecnología blockchain.	Bolsa Argentina de Carbono (BACX) Panel de BYMA Carbonplace
P2P digital	Marketplaces digitales donde compradores acceden directamente a proyectos, con trazabilidad y sin brokers. No siempre son descentralizados o automatizados. En algunos casos se emplea blockchain.	ClimateTrade (B2B, B2C) CarbonSwap Hestiya (B2B) Carbonfuture Senken
Web3 tokenizado / DAO	Plataformas construidas sobre blockchain que permiten tokenizar créditos, operan sin intermediarios tradicionales, y muchas veces son gobernadas por DAOs.	Toucan Protocol KlimaDAO Regen Network Nori Carbonable

Fuente: Basada en información de ChatGPT, DeepSeek y Gemini.

Nota: dadas las características heterogéneas de las distintas plataformas, la clasificación de los ejemplos no es excluyente.

De esta forma es posible tipificar los mercados voluntarios de carbono en función de sus características de funcionamiento. Se encuentran en primer lugar los mercados organizados, over the counter, marketplace digital simple y mercados híbridos. Éstos se caracterizan por su estructura formal, con plataformas que facilitan transacciones estandarizadas o gestionadas mediante reglas específicas, ofreciendo mayor transparencia, regulación y mecanismos de comparación entre oferta y demanda.

Por otro lado, pueden reconocerse dos tipos de mercados de carbono P2P de carbono (Tabla 2, marcados en color), en función de las plataformas que simplemente digitalizan el acceso (P2P digital) y las que lo descentralizan/tokenizan (Web3). Los Marketplaces Web3 o Blockchain nativo son plataformas donde los créditos de carbono se tokenizan y se transan como activos digitales en exchanges descentralizados. Los usuarios intercambian entre sí a través de contratos inteligentes sin necesidad de intermediarios humanos o empresas. En algunos casos, pueden sumarse Protocolos DAO (*Decentralized autonomous organization*) o DeFi para carbono (infraestructura abierta de intercambio), que constituyen una estructura de gobernanza digital que opera mediante reglas programadas en contratos inteligentes sobre una blockchain, y que permiten que las decisiones se tomen de forma colectiva por sus miembros, sin necesidad de una autoridad central tradicional. De esta forma, permiten construir soluciones P2P “encima”, como *liquidity pools*, *staking*, compensación automatizada, entre otros. KlimaDAO es un ejemplo de este tipo de protocolo. Otra modalidad la constituyen los marketplaces P2P digitales, que son plataformas digitales que permiten a compradores conectarse directamente con proyectos o desarrolladores, sin brokers ni exchanges organizados. Aunque no siempre usan blockchain, ofrecen trazabilidad y elección directa del proyecto.

En la Tabla 4 se presenta un listado no taxativo de plataformas créditos de carbono voluntarios, indicando con color las que pueden identificarse como P2P, y el impacto que declaran en sus sitios web. Como se puede observar, la información es heterogénea e incompleta, lo que dificulta el cálculo de agregados.²

3.2 Impactos y desafíos potenciales

Pueden identificarse un conjunto de beneficios potenciales de los mercados P2P. En primer lugar, los mercados basados en blockchain permiten rastrear créditos desde su origen hasta el comprador final, reduciendo riesgos de fraude o doble conteo. El empleo de la tecnología blockchain en los mercados de carbono P2P puede aumentar la confianza en la integridad de los créditos de carbono y reducir los costos de procesamiento de transacciones en comparación con los sistemas tradicionales, ya que proporciona un registro inmutable y transparente de las transacciones, permitiendo automatizar procesos como la verificación y la validación mediante contratos inteligentes (Merlo *et al* 2025).

Zhang *et al* (2024) emplean como estudio de caso la Bolsa de Medio Ambiente y Energía de Shanghai (China) para investigar los efectos de las aplicaciones de la tecnología blockchain sobre los precios de transacción en el mercado de comercio de carbono. Mediante una método-

² Si bien existen iniciativas que reúnen información agregada como Klima Data Dashboard (<https://data.klimadao.finance/es>), este se centra principalmente en el mercado voluntario tokenizado.

*Tabla 4. Reducción de emisiones declarada, por plataforma
(mercados voluntarios)*

Plataforma	Año de inicio	País de origen	Enlace	Impacto
ClimateTrade	2016	España/EEUU	https://climatetrade.com/	4.5 M tons
CarbonX-ClimeFi	2017 (cambio de nombre 2024)	Canadá	https://www.climefi.com/	300.000 tons
Nori	2017 (cierre 2024)	EEUU	-	700.000 tons ³
Regen Network	2018	EEUU	https://www.regen.network/	588,448 ecocredits retirados(1)
Pachama	2018	EEUU	https://pachama.com/	ND
AirCarbon Exchange (ACX)	2019	Singapur/Emiratos Árabes Unidos	https://www.aircarbon.com/	ND
Carbonfuture	2020	Alemania	https://www.carbonfuture.earth/	ND
Toucan Protocol	2021	Global	https://toucan.earth/	298.900 tons retiradas
CarbonSwap	2021	Global	https://carbonswap.exchange/	ND
KlimaDAO	2021	Global	https://www.klimadao.finance/	20,393 M tons
Carbonplace	2022	Global	https://carbonplace.com/	ND
Senken	2022	Alemania	https://senken.io/	ND
Carbonable	2022	Francia	https://carbonable.io/	74.346 tons retiradas
Hestiya	2022	India	https://www.hestiya.com/	ND
Panel de Mercado Voluntario de Carbono	2024	Argentina	https://www.byma.com.ar/financiarse/productos-esg/mercado-voluntario-carbono	220 tons
Bolsa Argentina de Carbono	2025	Argentina	https://www.bacx.com.ar/	ND

Fuente: Elaboración propia con base a información disponible en el sitio web de cada plataforma.

Nota: Impacto declarado por cada plataforma en su sitio web.

(1) Ecocredits representa típicamente 1 tonelada de CO₂ equivalente capturada o evitada, aunque puede reflejar otros servicios ecológicos (biodiversidad, suelo, agua) según la clase de crédito.

Se indican en color celeste los mercados Web3 tokenizado / DAO y en color naranja los mercados P2P digitales. ND indica dato no disponible.

logía de estudio de eventos, la investigación encuentra que la tecnología blockchain mejora significativamente la transparencia, la seguridad y la eficiencia del mercado de carbono, ejerciendo así una influencia positiva sobre los precios de transacción. Asimismo, la

³ Fuente; <https://www.geekwire.com/2024/nori-a-seattle-based-carbon-removal-marketplace-that-raised-17m-shuts-down-after-7-years/>

disminución de los costos de participación afecta positivamente la accesibilidad para proyectos de pequeña escala. Los protocolos Web3 (como KlimaDAO o Toucan) tokenizan créditos, facilitando su fraccionamiento y comercio en mercados secundarios, lo cual brinda mayor liquidez (Toucanearth 2025).

Una de las preocupaciones sobre el mercado de carbono en general, que es extensible a los mercados P2P, es la calidad e integridad de los mismos. Existe el riesgo de que los proyectos sobreestimen sus efectos sobre la reducción de emisiones, lo que llevaría un sobre-otorgamiento de créditos que no representan un impacto climático verificable (Gill-Wiehl *et al*, 2024; Carbon Offset Guide. s/f). Por ejemplo, Mulder & Faecks (2025) estudian un grupo de proyectos a desarrollarse en Myanmar bajo el Artículo 6.4 del Acuerdo de París, y encuentran que solo uno de cada 26 es probable que represente reducciones reales de emisiones. Probst *et al* (2024) analizan 14 investigaciones sobre proyectos de mitigación de carbono cubriendo la quinta parte del volumen total de créditos hasta la fecha del estudio, y estiman que menos del 16 % de los créditos de carbono emitidos para los proyectos analizados representan reducciones reales de emisiones. En este sentido, surge la necesidad de revisar las metodologías de otorgamiento de créditos, así como la relevancia de una evaluación externa (auditoría) independiente por una entidad reconocida.

Otro factor adicional que representa un desafío es el riesgo de *greenwashing*, a través de prácticas que presenten información falsa o engañosa sobre los efectos ambientales de los proyectos. Battocletti *et al* (2024) señalan los conflictos de interés y los problemas de información imperfecta que afectan al mercado voluntario de carbono e impiden que alcance su máximo potencial, llevando a la necesidad de regulaciones o de mecanismos privados de litigación. Por su lado, Chen (2018) destaca que, si bien la tecnología blockchain permite mejorar la rendición de cuentas en los mercados de carbono, carece de la capacidad para analizar, predecir y detectar transacciones fraudulentas en tiempo real. En este sentido, Raja-Segaran *et al* (2025) proponen que los algoritmos de aprendizaje automático (*machine learning*, ML), que pueden procesar grandes conjuntos de datos, identificar patrones y detectar anomalías, podrían indicar cuestiones fraudulentas o exageradas en los créditos de carbono. Entonces, ambas tecnologías pueden combinarse, de forma que la tecnología blockchain funciona como un sistema de registro inmutable, mientras que ML permite automatizar la detección de fraudes y aumentar la eficiencia en la validación de créditos.

Zhang *et al* (2024) identifican varios desafíos asociados al uso de blockchain, entre ellos el aumento de costos, el mayor consumo de energía, las demoras en las transacciones y los elevados costos de aprendizaje. Para mitigar estos problemas, estos autores proponen optimizar la arquitectura de blockchain, incorporar tecnologías de segunda capa (Layer 2) para acelerar los procesos de transacción y desarrollar marcos regulatorios innovadores. Coutinho *et al* (2022) estiman la cantidad de energía utilizada y las emisiones de carbono generadas durante el proceso de validación en blockchain, y calculan el costo asociado a dicha tecnología con el fin de evaluar su beneficio económico en un escenario de comercio energético P2P. Para ello, emplean datos reales provenientes de sistemas operativos de comercio energético entre pares en Australia.

El estudio encuentra que la energía utilizada para la minería en blockchain representa 20 % del ahorro energético y equivale a casi el 14 % del consumo energético residencial. Cuando la energía se mina en Australia, la tecnología blockchain permite una reducción de 20 % en las emisiones de carbono. Esta disminución puede incrementarse aún más en ubicaciones con

acceso a fuentes de energía renovable. Además, el costo promedio de blockchain equivale a 23 % del gasto eléctrico de los hogares. Este costo puede reducirse drásticamente hasta 1 % mediante el uso de soluciones blockchain de segunda capa, es decir, soluciones fuera de cadena (*off-chain*) y cadenas laterales (*sidechains*). En consecuencia, los autores concluyen que el comercio de energía entre pares (P2P) basado en blockchain constituye una solución segura, rentable y respetuosa con el medio ambiente, que permite acceder a electricidad económica con menores emisiones de carbono.

4. Conclusiones

Los mercados P2P permiten intercambiar derechos de emisión directamente entre particulares, empresas o comunidades, con el objetivo de promover una asignación más eficiente y flexible de recursos para la reducción de emisiones. El análisis de antecedentes muestra que, entre sus beneficios, en especial cuando se implementa la tecnología blockchain, se encuentran la mayor integridad y reducción de costos, lo cual fomenta la accesibilidad. Asimismo, la tokenización promueve la liquidez del mercado.

Por otro lado, los antecedentes también señalan algunos desafíos, como la calidad de los créditos, el riesgo de *greenwashing* y los problemas en cuanto a consumo de energía y costos de aprendizaje del uso del blockchain.

Con respecto a la evaluación del impacto climático real en las emisiones de los mercados P2P de créditos de carbono se presentan múltiples desafíos, debido a la falta de estandarización, transparencia limitada y cuestiones metodológicas. Varias de las plataformas consultadas no publican datos consolidados sobre toneladas intercambiadas o retiradas. Además, la calidad y posibilidad de agregación de los créditos varía significativamente, ya que algunos pueden provenir de proyectos con verificaciones débiles, generando dudas sobre si la reducción de emisiones es real y permanente.

También, en mercados tokenizados (como los que usan Web3), persiste el riesgo de doble conteo o venta repetida de un mismo crédito, a pesar de los registros en cadena, ya que no siempre hay sincronización con los estándares tradicionales (Verra, Gold Standard). Por último, el carácter descentralizado de estos mercados dificulta el monitoreo independiente, ya que no existe una autoridad única que audite las transacciones. En consecuencia, aunque los mercados P2P democratizan el acceso a los créditos, su verdadero impacto climático resulta difícil de cuantificar con precisión. Surge entonces como una necesidad para el crecimiento de estos mercados contar con mecanismos de verificación y de reporte estandarizados responsables.

REFERENCIAS

- Battocletti, V., Enriques, L. & Romano, A. (2024). *The voluntary carbon market: Market failures and policy implications*. University of Colorado Law Review, 95 (3): 519-573.
- Bolsas y Mercados Argentinos (BYMA) (2025). *Mercado voluntario de carbono*. En sitio web byma.com.ar

- Business Connection (2024). *El ciclo de vida de un crédito de carbono*. En sitio web businessconnection.info
- Carbon offset guide (s.f.). *What are common criticisms about carbon credits*. En sitio web offset-guide.org
- Chen, D. (2018). *Utility of the blockchain for climate mitigation*. The Journal of The British Blockchain Association, 1 (1): 75-80
- Coutinho, K., Wongthongtham, P., Abu-Salih, B., Abu Saleh, M. A. & Khairwal, N. K. (2022). *Carbon emission and cost of blockchain mining in a case of peer-to-peer energy trading*. Frontiers in Built Environment, 8, 945944.
- Ecosystem Marketplace (2025). *State of the voluntary carbon market*. En sitio web ecosystemmarketplace.com
- Gill-Wiehl, A., Kammen, D. M. & Haya, B. K. (2024). *Pervasive over-crediting from cookstove offset methodologies*. Nature Sustainability, 7 (2): 191-202.
- Merlo, A. L., Mendonça, D. S., Santos, J., Carvalho, S. T., Guerra, R. & Brandão, D. (2025). *Blockchain for the carbon market: A literature review*. Discover Environment, 3 (1): 1-21.
- Mulder, I. & Faecks, B. (2025). *First wave of Article 6 carbon credits misfire spectacularly*. Carbon Market Watch. En sitio web carbonmarketwatch.org.
- PriceWaterhouseCoop – pwc (2023). *Mercados de carbono: un sector creciente a nivel global, con gran potencial en Argentina*. En sitio web pwc.com.ar
- Probst, B. S., Toetzke, M., Kontoleon, A., Díaz Anadón, L., Minx, J. C., Haya, B. K. et al (2024). *Systematic assessment of the achieved emission reductions of carbon crediting projects*. Nature communications, 15, 9562.
- Raja-Segaran, B., Mohd-Rum, S. N., Hafez-Ninggal, M. I. & Mohd-Aris, T. N. (2025). *Efficient ML technique in blockchain-based solution in carbon credit for mitigating greenwashing*. Discover Sustainability, 6, 281.
- Tanveer, U., Ishaq, S. & Hoang, T. G. (2025). *Tokenized assets in a decentralized economy: Balancing efficiency, value, and risks*. International Journal of Production Economics, 282, 109554.
- Toucanearth (2025). *Digital rails for climate finance*. En sitio web toucan.earth
- Zhang, G., Chen, S. C. I. & Yue, X. (2024). *Blockchain technology in carbon trading markets: Impacts, benefits, and challenges – A case study of the Shanghai Environment and Energy Exchange*. Energies, 17 (13): 3296.