

## POLICY BRIEF 2023/2



# Aplicación de las tecnologías blockchain en los sistemas de PSE: herramientas y oportunidades

## RESUMEN

Este informe comparte los resultados de las investigaciones llevadas a cabo en el ZMT sobre cómo las tecnologías blockchain pueden contribuir a mejorar los resultados ambientales y sociales de los esquemas de Pagos por Servicios Ambientales (PSA).

Los blockchains son un tipo de tecnología distribuida de registro de transacciones. Son un sistema de registros electrónicos para establecer un consenso en torno a las transacciones consignadas en un libro mayor. La información de las transacciones se registra en bloques de información digital y se encadena utilizando medios criptográficos.

Los Pagos por Servicios Ambientales (PSA) son mecanismos económicos ampliamente utilizados para alcanzar objetivos ambientales. Los pagos se ofrecen como incentivos económicos por llevar a cabo actividades de cuidado del medio ambiente o por evitar prácticas perjudiciales para el mismo.

La tecnología blockchain puede proporcionar diversas herramientas que contribuyen a la creación y gestión de esquemas de PSA, llevándolos así a ser más eficaces, eficientes y alineados con los objetivos sociales.

Para que los beneficios de la implementación de blockchain se materialicen, se debe comprender el marco social, económico y técnico en el que se desarrollan los esquemas de PSA con el fin de definir la función que la tecnología puede cumplir y diseñar, la arquitectura del blockchain en función de las necesidades específicas de cada proyecto de PSA.

## RESULTADOS

- La implementación de tecnologías Blockchain puede reducir sustancialmente los costes de transacción asociados al establecimiento y la gestión de los sistemas de PSA.
- La inmutabilidad de la información codificada en un libro de contabilidad distribuido, junto con la naturaleza determinista de los contratos inteligentes, aumenta la previsibilidad y la confianza en los resultados de los acuerdos contractuales y fomenta la confianza entre los participantes en los PSA, contribuyendo así al éxito de los esquemas de PSA.
- Los Blockchains, como tecnología de desintermediación, pueden facilitar la aparición de esquemas de PSA directos, en los que compradores y proveedores realizan transacciones de servicios ambientales (SA) directamente, ayudando así a alinear los incentivos de los proveedores y compradores de SA.
- Los blockchains pueden facilitar la implementación de esquemas de condicionalidad en los PSA mediante reducir los costos de monitoreo, facilitar mecanismos de sanción y automatizar la condicionalidad de los pagos.
- Las cadenas de bloques pueden facilitar la innovación institucional en los regímenes de PSA.

## RECOMENDACIONES

- Considerar la dotación y capacidad digital de los participantes a un esquema de PSA y su aceptación hacia la adopción tecnológica antes de la implementación de una solución blockchain.
- Garantizar la disponibilidad de sistemas de oráculo fiables para trasladar la información de la vida real sobre los recursos ambientales y la provisión de servicios al ámbito digital de las cadenas de bloques.
- Considerar las implicaciones económicas del uso de blockchains y tener en cuenta los costos de desarrollo, así como las implicaciones de su uso en la disposición a pagar por los servicios ambientales y a aceptar pagos por los mismos.
- Diseñar la arquitectura blockchain en función de las necesidades específicas del Proyecto.
- Garantizar la liquidez de los tokens de pago usados en el esquema

## CONTEXTO

Muchos servicios ecosistémicos son bienes públicos o recursos de uso común. Estos no se negocian en los mercados, no se paga por su provisión y es imposible excluir a alguien de su uso. Estas características conducen a menudo a un uso excesivo y a una degradación gradual de los recursos naturales, sobre todo cuando la degradación está asociada a actividades privadas rentables que reportan beneficios privados.

Un instrumento para corregir esta falla son los pagos por servicios ambientales (PSA). Los PSA son mecanismos económicos para compensar los costes de oportunidad asociados a la prestación de servicios ambientales (SA) y para incentivar económicamente su provisión. Engel (2016; 133) define los PSA como "incentivos económicos positivos en los que los proveedores de servicios ambientales pueden solicitar voluntariamente un pago condicionado al suministro de servicios ambientales o a una actividad claramente vinculada a dicho suministro".

Aunque los PSA no son una panacea para resolver los problemas ambientales (Engel, Pagiola y Wunder, 2008), sí son herramientas importantes para cambiar las estructuras de incentivos a favor de la provisión de SA. Los PSA ayudan a distribuir los costos asociados a la prestación de SA entre quienes perciben sus beneficios. Wunder et al. (2020) sostienen que, a pesar de las evidentes deficiencias de los regímenes de PSA, los estudios científicos disponibles siguen mostrando unos índices de impacto ambiental positivos superiores a la mayoría de los demás instrumentos de gestión ambiental.

Con el objetivo de diseñar mecanismos financieros innovadores para la provisión de servicios ambientales, el proyecto de Manejo Integrado Marino-costero (MIMAC) de la Agencia de Cooperación Alemana (GIZ) encargó al Leibniz Centre for Tropical Marine Research (ZMT) que investigara alternativas novedosas para el diseño de esquemas de PSA. En este sentido, el ZMT investigó si las blockchains pueden ser utilizados para facilitar la implementación exitosa de esquemas de PSA.

Los blockchains son un subconjunto de las Distributed Ledger Technologies (DLT) que agrupa información de transacciones en bloques. Rauchs et al. (2018; 24) describen las DLT como "un sistema de registros electrónicos que permite a una red de participantes independientes establecer un consenso en torno a la ordenación autorizada de transacciones validadas criptográficamente. Estos registros de transacciones se hacen persistentes mediante replicar los datos a través de múltiples nodos y se hacen inviolables

mediante vincularlos a través de *hashes* criptográficos".

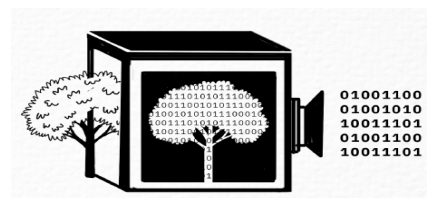
Las tecnologías Blockchain hicieron posible la propagación de aplicaciones que pueden utilizarse para mejorar los resultados de los sistemas de PSA tales como los *tokens* y los *contratos inteligentes*.

Los *contratos inteligentes* son secuencias de comandos informáticos que, cuando se activan mediante un input determinado, ejecutan un resultado predefinido. La ejecución de cada transacciones asociadas al contrato se registra como una transacción inmutable almacenada en la blockchain. Cuando el contrato opera de acuerdo con las intenciones de todas las partes contractuales, la naturaleza determinista de su ejecución reduce el nivel de confianza necesario para que los participantes individuales interactúen y hagan transacciones entre sí (Rauchs, Glidden et al. 2018). Su uso reduce el riesgo de error, manipulación e incumplimiento. Al hacerlo, pueden reducir los costes de transacción relacionados con el monitoreo y sanción de las reglas del contrato. De esta manera, la probabilidad de disputas legales sobre el cumplimiento del contrato se reducen en gran medida.

Los *tokens* criptográficos son representaciones digitales de activos o derechos de acceso gestionados por un contrato inteligente en un ecosistema respaldado por un DLT (Voshmgir, 2020). Los *tokens* sirven para diversos fines en las redes blockchain, dependiendo de sus características y de su papel en el sistema. Los *tokens* pueden aprovecharse, por ejemplo, para crear dinero programable. Este tipo de dinero digital puede "programarse para ser gastado únicamente si se cumplen determinadas condiciones... Una vez programado, el dinero programable dicta quién puede gastarlo, en qué puede gastarse, cuándo puede gastarse, o que tanto puede gastarse" (Royal et al., 2018;5-6). El dinero programable respeta las condiciones que limitan su liquidez y aumentan el control que puede ejercerse sobre su uso. Las políticas para el dinero programable pueden vincularse directamente al propio dinero.

Un requisito previo para la integración de información exógena de la vida real en un libro mayor de blockchain son el desarrollo y la implementación efectiva de los llamados

oráculos. Los oráculos son mecanismos que permiten



conectar el sistema blockchain con la información externa sirviendo como fuentes de información (Rauchs, Glidden et al. 2018). Los oráculos proporcionan mecanismos a través de los cuales la información del mundo real sobre recursos ambientales, actividades, eventos, etc. pueden ser traducidas a formato digital utilizable en las blockchains. Los oráculos proveen, solicitan, verifican y

autentican información externa antes de comunicarla a la blockchain.

Los sistemas de PSE requieren oráculos fiables para traducir a bits y bytes la información sobre los recursos naturales y los servicios ambientales. Es por lo tanto importante contar con un sistema de oráculos fiable para garantizar la calidad de la información sobre la que se toman las decisiones de los esquemas de PSA.

## RESULTADOS

La utilización de Blockchain puede reducir los costos de transacción asociados a la creación y gestión de esquemas de PSA. Todos los costos asociados al esquema que no forman parte de la compensación directa por la provisión de servicios ambientales representan costos de transacción (Wunder et al., 2008). Unos costos de transacción elevados consumen recursos que de otro modo estarían disponibles para financiar la provisión adicional de SA, reduciendo así los posibles impactos positivos de los esquemas de PSA.

Los costos de transacción pueden reducirse creando instituciones que minimicen la fricción transaccional (Williamson, 1981). Las cadenas de bloques ofrecen varias herramientas para reducir los costos de transacción de los PSA, tales como la reducción en costes de intermediación financiera, la reducción de costos de monitoreo mediante el aprovechamiento de oráculos digitales y el aumento de la confianza en el cumplimiento de los contratos a través de contratos inteligentes. La transparencia y no repudiación de las transacciones, junto con la inmutabilidad de los datos y la naturaleza determinista de los contratos inteligentes, pueden además fomentar la confianza entre los participantes en los PSA y reducir los costos asociados a asegurar las transacciones de SA, contribuyendo así al éxito de los proyectos de PSA.

Los blockchains pueden también facilitar la aparición de esquemas de PSA directos. Los esquemas directos de PSA son aquellos en los que compradores y vendedores de SA realizan transacciones directamente, sin recurrir a intermediarios. Engel et al. (2008: 666) afirman que estos esquemas directos tienen más "probabilidades de ser eficientes, ya que los actores con más información sobre el valor del servicio están directamente implicados, tienen un incentivo claro para garantizar el buen funcionamiento del mecanismo, pueden observar directamente si el servicio se está prestando y tienen la capacidad de renegociar (o rescindir) el acuerdo en caso necesario". Sin embargo, existen pocos ejemplos de esquemas de PSA directos. Esto se debe en parte a la falta de

estructuras institucionales que permitan este tipo de transacciones a bajo costo. Aprovechando las infraestructuras blockchain, los individuos de todo el mundo pueden organizarse ahora más fácilmente en redes para perseguir objetivos comunes, como, por ejemplo, promover la provisión de un SA.

En los blockchain networks, un registro de cuentas editado y revisado colectivamente facilita la contabilidad, mientras que su transparencia e inmutabilidad fomenta la confianza entre los participantes y la confianza en los acuerdos y las transacciones del sistema. La transparencia en las transacciones permite a las partes visualizar y escrutar los flujos de dinero y de servicios sin depender necesariamente de un testigo externo. Las transacciones económicas ocurren a bajo costo mediante el uso de tokens para pago y para la representación digital de activos. Las discrepancias contractuales en las que se requiere la intervención de un juez o un árbitro se reducen mediante la implementación automática de acuerdos con contratos inteligentes. Y la información relevante sobre el recurso ambiental se puede añadir directamente al libro de contabilidad a través de sistemas de oráculo, eludiendo posiblemente la necesidad de costos de monitoreo por terceros. Además, los blockchains pueden facilitar la creación de acuerdos de condicionalidad en los PSA mediante facilitar mecanismos de sanción y automatizar los pagos condicionados. Los pagos por servicios ambientales sólo deberían concederse si se reciben a cambio los servicios ambientales esperados. Si los pagos están condicionados a la prestación de servicios, las consecuencias del incumplimiento deberían ser la interrupción de los pagos. Sin embargo, muchos sistemas no sancionan el incumplimiento de los acuerdos contractuales. Sancionar el incumplimiento suele ser costoso en términos políticos y sociales, ya que implica tomar medidas impopulares como suspender los pagos y aplicar sanciones. Las autoridades, los políticos o las partes encargadas de aplicar las sanciones deben

asumir el costo social y político de su implementación y pierden aceptación o popularidad. Los contratos inteligentes y el dinero programable pueden ayudar a resolver estas dificultades mediante automatizar los mecanismos sancionadores. Los contratos inteligentes y el dinero programable pueden codificarse para garantizar que los pagos sólo se liberen después de recibir una certificación válida de la prestación de servicios. Así los contratos inteligentes pueden hacer que los mecanismos de sanción sean menos costosos en términos políticos y relacionales, ya que las sanciones son activadas automáticamente por contratos inteligentes auto-ejecutables, en lugar de por representantes humanos. Ya que estos mecanismos automatizados están basados en un código transparente y totalmente accesible, su transparencia contribuye a que los acuerdos de condicionalidad sean más previsibles y aceptables.

Los blockchains pueden también facilitar la innovación institucional en los esquemas de PSA. El código subyacente a un blockchain dicta el marco institucional

que rige las relaciones y transacciones entre los participantes de la red distribuida. Articular instituciones y aplicar normas puede resultar menos costoso cuando se utiliza una DLT como apoyo institucional. Los participantes a una red distribuida pueden probar, modificar y mejorar acuerdos institucionales simplemente alterando el código base. Mediante copiar códigos existentes, estos pueden también incorporar elementos de otras estructuras institucionales existentes y adaptarlos a su propia realidad. Así pues, las blockchains permiten la innovación y la implementación institucional a bajo costo (Berg, Davidson y Potts, 2018). La relativa sencillez con la que pueden crearse, copiarse y evolucionar los marcos institucionales facilitará la aparición de redes distribuidas coordinadas con blockchains que se dediquen a proyectos como el suministro y la venta de SA. Estas redes pueden crear infraestructuras desde dentro del marco institucional local promoviendo así la utilización de alternativas organizacionales autóctonas.

## RECOMENDACIONES POLÍTICAS

### Recomendación 1

***Considerar la dotación digital de los participantes y su aceptación hacia la adopción tecnológica antes de la implementación de blockchain.***

Garantizar que los participantes tengan un conocimiento de las tecnologías digitales que les permita participar en una red distribuida y aprovechar las ventajas que ésta ofrece. La tecnología utilizada debe adaptarse a las necesidades y deseos de los participantes.

Investigar si los participantes ven con buenos ojos la adopción de una tecnología distribuida. La introducción de una nueva tecnología digital distribuida repercute en la gobernanza de los sistemas y puede afectar a la percepción de las comunidades hacia el esquema de PSA. Si las partes interesadas se muestran reacias al uso de la tecnología, su utilización no es deseable. La utilización de cadenas de bloques es deseable cuando estas no sólo ofrecen soluciones a las necesidades técnicas o económicas de los PSA, sino también cuando son una alternativa socialmente aceptable para ello.

### Recomendación 2

***Garantizar la disponibilidad de sistemas de oráculo fiables para trasladar la información real sobre los recursos y sobre el suministro de servicios ambientales al ámbito digital de las cadenas de bloques.***

Para poder utilizar información ambiental en las cadenas de bloques, es necesario poder trasladar los acontecimientos de la vida real y la información sobre el recurso natural al ámbito digital de las cadenas de bloques de forma segura y fiable. El sistema de oráculo debe tener la capacidad de proporcionar información de alta calidad de forma segura, fiable y a un coste asequible. En aquellos sistemas en los que no sea fácil implantar un sistema de oráculo fiable, la digitalización de información externa de la vida real resultará improbable y los beneficios de utilizar blockchains para los esquemas de PSA son cuestionables.

### Recomendación 3

***Considerar las implicaciones económicas de la utilización de blockchain con base en los costos de desarrollo y la repercusión de su utilización en la disposición a pagar por servicios ambientales y la disposición a aceptar pagos por los mismos.***

En la actualidad, el desarrollo inicial de una infraestructura blockchain para manejar información puede resultar significativamente más caro que las alternativas no distribuidas. Los beneficios económicos esperados de la utilización de un blockchain y sus aplicaciones no deberían superar los costos de implementación.

Las cadenas de bloques pueden además transformar los costos de transacción asociados a los intercambios de SA y a los valores correspondientes a la disposición a pagar por SA y la disposición a aceptar pagos por los

mismos. La utilización de una cadena de bloques sólo puede ser considerada en situaciones en las que el valor de la disposición a pagar (menos los costos de transacción) es superior a la disposición a aceptar pagos por los prestadores de SA.

#### Recomendación 4

##### ***Diseñar la arquitectura blockchain en función de las necesidades específicas del proyecto.***

El diseño arquitectónico tiene importantes implicaciones institucionales para el sistema de PSA. La elección de la arquitectura adecuada depende de múltiples factores, como las relaciones entre los participantes, las preferencias de accesibilidad, las características socioeconómicas de los interesados, la disponibilidad de sistemas de oráculo, los costes, los conocimientos técnicos y otros. La arquitectura debe adecuarse a las necesidades específicas de cada proyecto.

#### Recomendación 5

##### ***Garantizar la liquidez de los tokens de pago usados en el esquema.***

Al emplear tokens en un sistema de PSA, es importante asegurar que las partes puedan canjear sus tokens por efectivo, divisas, por bienes o por servicios que les permitan disfrutar de los frutos de su trabajo. Los tokens criptográficos no siempre son aceptados como medio de pago. Dado que los tokens no tienen un valor de mercado inherente, la posibilidad de canjearlos es esencial para el correcto funcionamiento de la red y para mantener los incentivos del esquema PSA y de la red blockchain.

#### Sources:

- Engel, S. (2016). The Devil in the Detail: A Practical Guide on Designing Payments for Environmental Services. *International Review of Environmental and Resource Economics*, 131-177. doi:10.1561/101.00000076
- Engel, S., Pagiola, S., & Wunder, S. (2008). Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues. *Ecological economics*, 65(4), 663-674. doi:10.1016/j.ecolecon.2008.03.011
- Rauchs, M., Glidden, A., Gordon, B., Pieters, G. C., Recanatini, M., Rostand, F., Zhang, B. Z. (2018). Distributed ledger technology systems: a conceptual framework. *Voshmgir, S. (2020). Token Economy: How the Web3 reinvents the Internet: BlockchainHub.*
- Wunder, S., Börner, J., Ezzine-de-Blas, D., Feder, S., & Pagiola, S. (2020). *Payments for Environmental Services: Past Performance and Pending Potentials.*

#### ABOUT THIS POLICY BRIEF

This Policy Brief is part of a series aiming to inform policy-makers on the key results of the ZMT research projects and provide recommendations to policymakers based on research results. The series of ZMT Policy Briefs can be found at <https://www.leibniz-zmt.de/en/research/publications/policy-briefs.html>. This publication was commissioned, supervised, and produced by ZMT. DOI: <https://doi.org/10.21244/zmt.2023.006>

#### ACKNOWLEDGEMENTS

Financial support by the German Cooperation Agency (GIZ) is gratefully acknowledged.

#### DISCLAIMER

The policy recommendations made do not necessarily reflect the views of the ZMT or its partners.

#### IMPRINT

Authors: Julian Granados, Achim Schlüter, Rebecca Lahl

The authors work at, or are affiliated with Leibniz Centre for Tropical Marine Research (ZMT), Bremen, Germany,

You can find more information about the MIMAC project [here](#)

Published by the Leibniz Centre for Tropical Marine Research  
Fahrenheitstr. 6, D-28359 Bremen, Germany

Editor: Rebecca Lahl

E-Mail: [Rebecca.lahl@leibniz-zmt.de](mailto:Rebecca.lahl@leibniz-zmt.de)

Phone: +49 421 23800 -163

Homepage: <http://www.leibniz-zmt.de>