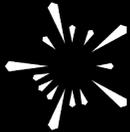




FORTALECIENDO LA INTEGRIDAD, LA CREDIBILIDAD
Y LA EFICACIA DE LAS UNIDADES DE BIODIVERSIDAD
DE TERRASOS MEDIANTE LA APLICACIÓN
DE LA TECNOLOGÍA DE CONTABILIDAD DISTRIBUIDA



REGEN
NETWORK

AUTORES

Sam Bennetts
Cory Levinson
Austin Wade Smith
Gregory Landua

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. ANTECEDENTES	6
2.1 CRÉDITOS DE BIODIVERSIDAD, UNIDADES Y COMPROMISOS AMBIENTALES.....	6
2.2 PROTOCOLOS PARA CRÉDITOS EN MERCADOS DE BIODIVERSIDAD	7
2.3 CRÉDITOS EN MERCADOS DE BIODIVERSIDAD REGULADOS	8
2.4 CRÉDITOS EN MERCADOS DE BIODIVERSIDAD VOLUNTARIOS	9
3. PROTOCOLO DE TERRASOS PARA LA EMISIÓN DE UNIDADES DE BIODIVERSIDAD	10
3.1 EL PROTOCOLO TEBU.....	10
3.2 PRINCIPIOS PARA LA EMISIÓN DE UNIDADES DE BIODIVERSIDAD DE TERRASOS.....	11
4. SISTEMAS DE REGISTRO EN ESQUEMAS DE CRÉDITOS DE BIODIVERSIDAD	12
4.1 SISTEMAS DE REGISTRO Y PROTOCOLOS DE CRÉDITOS.....	12
4.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE REGISTRO TEBU	13
5. INTEGRACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE CONTABILIDAD DIGITAL EN LOS MERCADOS DE BIODIVERSIDAD.....	14
5.1 ENTENDER LA TECNOLOGÍA DE CONTABILIDAD DISTRIBUIDA.....	14
5.2 VENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA DE CONTABILIDAD DISTRIBUIDA EN MERCADOS DE BIODIVERSIDAD	15
5.2.1 Seguimiento de Activos y Gestión de Créditos.....	16
5.2.2 Evidencia y Auditabilidad de los Créditos.....	16
5.2.3 Gobernanza y Proceso de Toma de Decisiones.....	17
6. ARQUITECTURA TÉCNICA PARA EL SISTEMA DE REGISTRO TEBU	17
6.1 ARQUITECTURA DEL PROTOCOLO DE CRÉDITOS	17
6.2 ROLES DE LOS ACTORES DE PROYECTO Y EL SISTEMA DE REGISTRO Y ROLES EN EL PROCESO DE EMISIÓN DE CRÉDITOS	20
6.3 CUANTIFICACIÓN Y EMISIÓN DE CRÉDITOS	22
6.3.1 Cuantificación de Créditos.....	22
6.3.2 Liberación de Créditos.....	22
6.3.3 Distribución, Titularidad y Retiro de Créditos.....	23

7 ARQUITECTURA TÉCNICA PARA ADJUDICACIONES DE DATOS AUDITABLES	24
7.1 ADJUDICACIONES EN EL PROTOCOLO TEBU.....	24
7.2 EVIDENCIA Y MANEJO DE ADJUDICACIONES PARA PROYECTOS TEBU.....	25
7.3 VENTAJAS DE UN ENFOQUE BASADO EN ESTÁNDARES.....	26
7.4 ALMACENAMIENTO DE DATOS, DIVULGACIÓN SELECTIVA Y PRIVACIDAD EN EL PROTOCOLO TEBU	27
8 GOBERNANZA DEL PROTOCOLO TEBU	27
8.1 DIRECCIONES, GESTIÓN DE CUENTAS EN CADENA Y SU RELACIÓN CON LA GOBERNANZA.....	27
8.2 CÓMO LA DLT PUEDE MEJORAR LA GOBERNANZA DEL PROTOCOLO TEBU	29
8.3 GOBERNANZA DE LA REGEN LEDGER NETWORK Y SU RELACIÓN CON EL PROTOCOLO TEBU	30
9 LIMITACIONES	31
9.1 ACCESIBILIDAD DE LA PLATAFORMA.....	31
9.2 RETOS DE SEGURIDAD DE LAS REDES DESCENTRALIZADAS.....	31
9.3 LIMITACIONES DE LOS MODELOS DE GOBERNANZA DESCENTRALIZADA	32
10 CONCLUSIÓN.....	32
11 BIBLIOGRAFÍA.....	32

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. CALENDARIO DE LIBERACIÓN DE CRÉDITOS DEL PROTOCOLO TEBU.....	10
FIGURA 2. ARQUITECTURA TÉCNICA DEL PROTOCOLO TEBU UTILIZANDO EL MÓDULO ECOCREDIT DE REGEN LEDGER.....	19
FIGURA 3. PROCESO DE REGISTRO Y EMISIÓN DE CRÉDITO DE UN PROYECTO TEBU	21
FIGURA 4. IDENTIFICACIÓN DEL LOTE DE CRÉDITOS	22

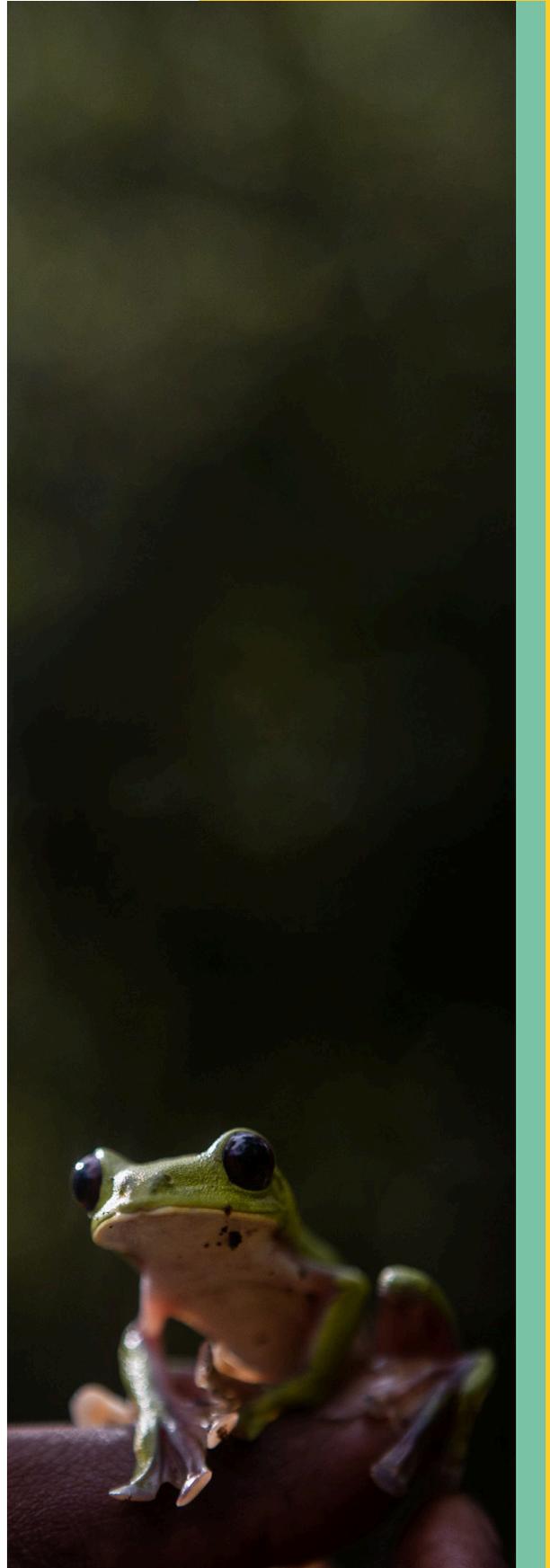
LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Principios Básicos del Protocolo para la Emisión de Créditos de Biodiversidad en Mercados Voluntarios	11
Tabla 2. Definiciones de anclaje y certificación	16
Tabla 3. Componentes clave de la arquitectura del protocolo Tebu en Regen Ledger	18
Tabla 4. Roles de los principales actores en el proceso de registro de proyectos y emisión de créditos	20
Tabla 5. Ejemplos de adjudicaciones de resultados ecológicos en el Protocolo Tebu	23
Tabla 6. Requisitos Técnicos de la Gestión de Evidencia y Adjudicaciones para Proyectos Tebu.....	25

1. INTRODUCCIÓN

Durante más de dos décadas los créditos ambientales han servido como herramienta fundamental para abordar el cambio climático y la pérdida de la biodiversidad, al traducir compromisos ambientales amplios en resultados factibles. Los créditos ambientales definen una medida cuantificable de las intervenciones ecológicas positivas, permitiendo a las organizaciones comprometidas con ellas evaluar el progreso de las iniciativas ambientales y dirigir el apoyo financiero a sus proyectos. En los mercados de biodiversidad regulados los créditos facilitan la implementación de proyectos de conservación al crear una unidad de medida compartida que las agencias gubernamentales y las instituciones públicas o privadas pueden utilizar para cuantificar las contribuciones necesarias para invertir en el bienestar ecológico y compensar los impactos del desarrollo humano sobre el medio ambiente. Más recientemente, el interés en los esquemas voluntarios de créditos de biodiversidad ha aumentado a medida que iniciativas internacionales, como el Marco Mundial de la Biodiversidad, posterior a 2020, continúan destacando la necesidad de contar con estrategias de conservación efectivas (Grupo de Trabajo de Composición Abierta sobre el Marco Mundial de la Diversidad Biológica Posterior a 2020, 2022). A medida que se establecen estos nuevos mercados, la necesidad de crear sistemas robustos que aseguren la integridad y eficacia de los créditos se hace cada vez más importante.

Respondiendo a estas crecientes demandas, Terrasos produjo el Protocolo para la Emisión de Créditos de Biodiversidad Voluntarios, que propone un nuevo proceso para la emisión y la gestión de créditos de biodiversidad en mercados voluntarios. El Protocolo tiene como objetivo establecer un entorno de mercado basado en la confianza y la participación inclusiva, al proporcionar criterios para diseñar y concertar créditos basados en principios de transparencia, auditabilidad y sostenibilidad a largo plazo. La unidad de biodiversidad de Terrasos, o Tebu, representa 10 m² de ecosistema preservado y/o restaurado, gestionados por un grupo de actores que realizan la supervisión técnica, financiera y legal necesaria para garantizar resultados cuantificables en biodiversidad (Sarmiento et al., 2022).



Para mantener la integridad y la fiabilidad de las Tebu, el Protocolo utiliza la Tecnología de Contabilidad Distribuida (DLT, por sus siglas en inglés), consistente en sistemas digitales que emplean técnicas criptográficas para crear registros transparentes, rastreables e inmutables de datos y transacciones en una red descentralizada de computadoras. La DLT asegura un seguimiento robusto de extremo a extremo de las Tebu, garantizando una cadena de custodia ininterrumpida desde la creación hasta la retirada, y mitigando problemas como el fraude, la doble contabilidad y la reventa del mismo crédito. La información del proyecto almacenada en DLTs crea un rastro de auditoría digital de los datos que respaldan las adjudicaciones, permitiendo que el impacto de cada Tebu en la biodiversidad sea documentado, verificado y preservado con precisión por las partes interesadas, lo que mejora la supervisión y aumenta la confianza en el sistema. Además, la DLT proporciona la capacidad de rastrear la gobernanza del proyecto y del protocolo, promoviendo procesos de toma de decisiones más transparentes e inclusivos.

Este documento se presenta como una guía para integrar la DLT en el diseño y la operación de mercados voluntarios de biodiversidad. Al detallar las aplicaciones prácticas de la DLT para mejorar la integridad, la transparencia y la gobernanza del Protocolo y los créditos de Tebu, resalta el potencial que tienen estas tecnologías emergentes para fomentar la confianza en las acciones tomadas para proteger y mejorar los ecosistemas naturales. Los principios, las filosofías, los métodos y los conocimientos técnicos propuestos aquí brindan orientación a los desarrolladores de proyectos, los formuladores de políticas, los registradores, los verificadores y las comunidades locales interesadas en aprovechar la DLT para promover el desarrollo de proyectos de biodiversidad de alta calidad. En última instancia, este documento tiene como objetivo fortalecer la creación de mercados de biodiversidad accesibles, eficientes y equitativos que permitan alcanzar mejores resultados en materia de conservación y que establezcan nuevos estándares en el uso de la tecnología para impulsar cambios ambientales positivos.





2. ANTECEDENTES

2.1

Créditos de Biodiversidad, Unidades y Compromisos Ambientales

Un crédito de biodiversidad es un certificado que representa una unidad medida y basada en evidencias de un resultado positivo de biodiversidad, duradero y adicional a lo que de otro modo habría ocurrido sin una intervención. La unidad que sustenta el crédito proporciona una medida cuantificable de los resultados, referidos a la reducción de amenazas sobre la biodiversidad, la prevención de afectaciones anticipadas a la biodiversidad o aumentos en la biodiversidad resultantes de intervenciones de proyectos como, por ejemplo, restauraciones ecológicas (Biodiversity Credit Alliance, 2024).

Las unidades de biodiversidad a menudo incorporan un componente de área geográfica e indicadores que describen las condiciones de un hábitat, como la estructura, la función y la composición del ecosistema, para establecer una unidad de medida coherente. Los indicadores específicos utilizados para cuantificar las unidades de biodiversidad suelen variar según el ecosistema, los objetivos de conservación y los métodos empleados para actuar en una zona determinada. Debido a la compleja naturaleza que implica medir la biodiversidad y los requisitos específicos de las diferentes intervenciones ecológicas, existe una amplia gama de definiciones sobre lo que constituye una unidad de biodiversidad. Un estudio reciente de Gradeckas, de junio de 2024, indica que más de 52 organizaciones están desarrollando o gestionando esquemas de créditos de biodiversidad con definiciones similares, pero a la misma vez distintos de lo que constituye una unidad.

A pesar de esta variabilidad, los créditos de biodiversidad ofrecen un mecanismo estructurado para convertir los esfuerzos de conservación y restauración en términos reconocibles por los mercados financieros, facilitando así la aplicación práctica de compromisos ambientales voluntarios u obligatorios.

2.2

Protocolos para Créditos en Mercados de Biodiversidad

Los protocolos de créditos forman la base de los mercados de biodiversidad, ofreciendo un enfoque estructurado para gobernar la creación, la verificación y la gestión de los créditos de biodiversidad. Estos marcos exhaustivos guían a los participantes del mercado a través del intrincado proceso de desarrollo de créditos, delineando roles y responsabilidades claros para los desarrolladores de proyectos, propietarios de tierras, auditores y operadores de registros, y trabajando para traducir las actividades de conservación y los resultados de biodiversidad en unidades claras y estandarizadas.

Los protocolos de créditos definen métodos para evaluar la elegibilidad de los proyectos, medir la adicionalidad, recopilar datos, presentar informes de monitoreo y verificar adjudicaciones. Igualmente, aseguran la permanencia de los resultados en biodiversidad logrados, especificando estrategias de gestión de riesgos como los grupos de búfer y los mecanismos de seguros, y estableciendo reglas para la emisión, la transferencia y el retiro de créditos. Muchos protocolos también describen procesos para aprovechar las tecnologías digitales, como los sistemas de registro, para mejorar la transparencia, la trazabilidad y el acceso en tiempo real a los datos de los proyectos, al mismo tiempo que reducen el riesgo de doble contabilización.

El establecimiento de un lenguaje común y un conjunto de reglas estandarizadas refuerza la confianza y la responsabilidad en los mercados de biodiversidad. Los inversores pueden comparar y evaluar más fácilmente diversos proyectos de conservación, lo que conduce a un aumento del flujo de capital hacia las iniciativas de biodiversidad. Estos marcos no solo agilizan la creación y la verificación de créditos, sino que además catalizan el crecimiento del mercado, fomentando la innovación en la financiación de la conservación de la biodiversidad y alentando una participación más amplia en todos los sectores.



**Más de 52
organizaciones
están
desarrollando
o gestionando
esquemas de
créditos de
biodiversidad
con definiciones
similares.**

2.3

Créditos en Mercados de Biodiversidad Regulados

En los mercados de biodiversidad regulados por políticas los créditos sirven como un mecanismo para alinear el desarrollo económico con los objetivos nacionales de conservación a través de marcos regulatorios establecidos. Estos créditos permiten a las organizaciones financiar esfuerzos de conservación a cambio de derechos de desarrollo que impactan ecosistemas específicos. En Nueva Gales del Sur (NWS), por ejemplo, el Esquema de Compensación de Biodiversidad (BOS, por sus siglas en inglés) permite a los propietarios de tierras crear y vender créditos de biodiversidad a organizaciones que necesitan compensar los impactos ambientales de proyectos que alteran hábitats naturales (Estado de Nueva Gales del Sur —Departamento de Cambio Climático, Energía, Medio Ambiente y Agua—, 2011).

En Colombia, los bancos de hábitat trabajan con un enfoque de conservación colaborativo en el que los desarrolladores y los propietarios de tierras unen recursos para gestionar grandes extensiones de tierras continuas que apoyan la conectividad ecológica y restauran diversos ecosistemas (Sarmiento et al., 2018). Registrados en el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, y gestionados por operadores locales, estos bancos de hábitat operan bajo un modelo de pago por resultados que mantiene principios de integridad al vender créditos a desarrolladores obligados a cumplir con la normativa existente en el país y a compradores voluntarios una vez los resultados han sido rigurosamente medidos y verificados.

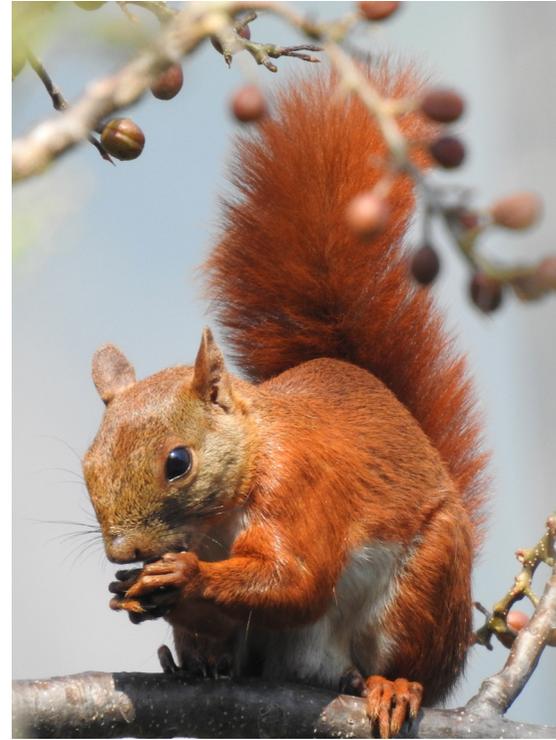


**En Colombia,
los bancos
de hábitat
trabajan con
un enfoque de
conservación
colaborativo.**

2.4

Créditos en Mercados de Biodiversidad Voluntarios

Los mercados de biodiversidad voluntarios han experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, reflejando un interés creciente por parte de corporaciones, organizaciones sin ánimo de lucro y particulares en ayudar a abordar el déficit de financiamiento por más de \$7 billones de dólares para la protección y el fortalecimiento de la naturaleza, identificado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2023). Estos mercados apoyan una gama más amplia de actividades de conservación y manejo que podrían no calificar para, o no tener acceso a, los marcos regulatorios tradicionales. Los créditos en estos mercados facilitan el financiamiento de proyectos que generan beneficios medibles para la biodiversidad, como la reforestación, la restauración de humedales, la conservación de servicios ecosistémicos y las prácticas agrícolas sostenibles.



La flexibilidad de los mercados voluntarios promueve la rápida innovación en el desarrollo de metodologías y el diseño de créditos, permitiendo la integración de la ciencia ecológica y tecnologías de vanguardia para crear estrategias de conservación impactantes y sostenibles (Pollination, 2023). Esta adaptabilidad también fomenta una mayor participación de las partes interesadas, como las comunidades indígenas, los propietarios locales y los grupos de conservación pequeños, quienes pueden interactuar directamente con compradores y usuarios finales para cocrear soluciones que mantengan principios de integridad y confianza.

A pesar de su rápido desarrollo, los mercados voluntarios de biodiversidad son todavía nuevos, lo que plantea la necesidad de establecer procesos y estándares que garanticen tanto la integridad ambiental como la viabilidad económica. Sin embargo, a medida que estos mercados maduran los esquemas de emisión de créditos desarrollados en el sector voluntario pueden informar programas gubernamentales para ampliar la efectividad de los esfuerzos de conservación y mejorar el impacto general de los créditos de biodiversidad.

3. PROTOCOLO DE TERRASOS PARA LA EMISIÓN DE UNIDADES DE BIODIVERSIDAD

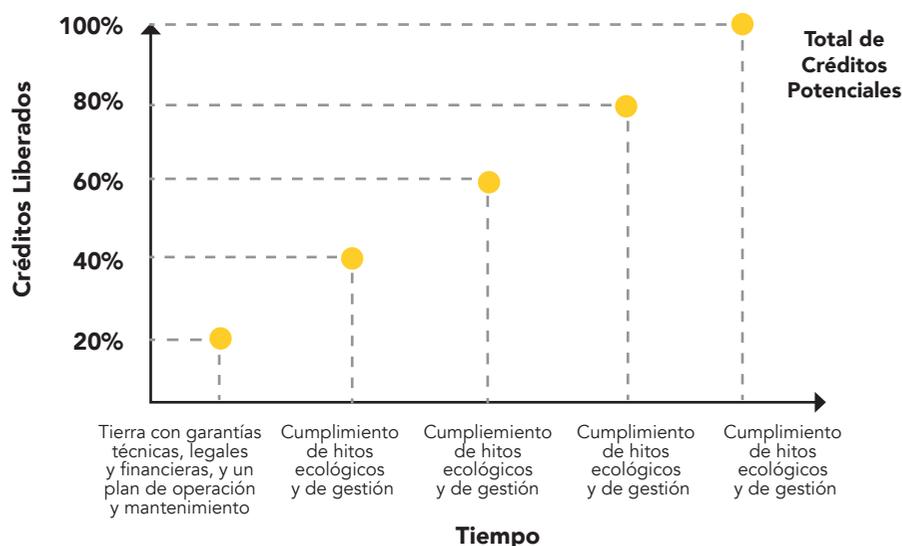
3.1

El Protocolo Tebu

El Protocolo para la Emisión de Unidades de Biodiversidad Voluntarios de Terrasos (en adelante, el Protocolo Tebu) busca apoyar el desarrollo de proyectos de biodiversidad de alta calidad al ofrecer una vía estructurada para registrar, cuantificar y emitir créditos de biodiversidad. La Unidad de Biodiversidad de Terrasos, o Tebu (por su nombre en inglés, "Terrasos Biodiversity Unit"), representa 10 m² de un ecosistema preservado y/o restaurado, gestionado técnica, financiera y legalmente por un operador de proyectos para lograr ganancias cuantificables en biodiversidad durante al menos 20 años (Sarmiento, et al., 2022). Las Tebu generan valor a largo plazo para los ecosistemas, las comunidades y los inversores al asegurar que los resultados representen mejoras reales y medibles en la calidad del hábitat, la función del ecosistema y la participación comunitaria.

El esquema de liberación de unidades utilizado por el Protocolo Tebu, ilustrado en la Figura 1, garantiza la transparencia y la responsabilidad de los proyectos registrados al liberar unidades solo tras el logro exitoso de hitos ecológicos y de gestión verificados por terceros independientes. Los operadores de proyectos pueden modificar el calendario de liberación y el número de créditos emitidos para adaptarse a la naturaleza dinámica y compleja de estos proyectos con múltiples actores y partes interesadas. Este enfoque escalonado por etapas y flexible, junto con el método detallado para cuantificar las Tebu, tanto en métricas de desempeño como de gestión, promueve la resiliencia del ecosistema al recompensar a las comunidades por el estado evolutivo del proyecto, favoreciendo aquellos proyectos que mejoran activamente las condiciones en hábitats amenazados.

Figura 1. Esquema de liberación de unidades del Protocolo Tebu.



3.2

Principios para la Emisión de Unidades de Biodiversidad de Terrasos

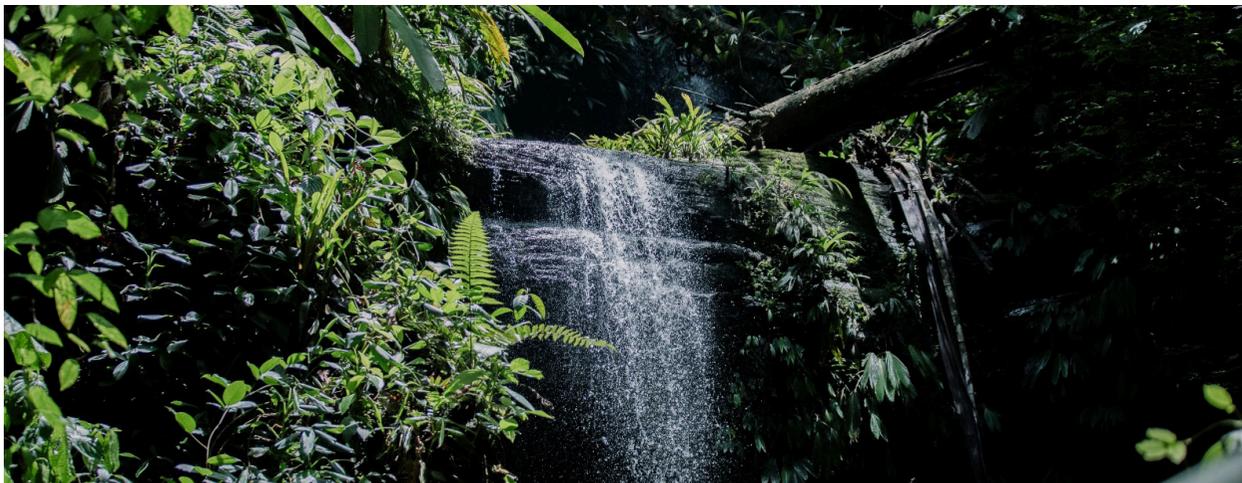
El Protocolo Tebu se basa en esquemas de créditos ecológicos y marcos de conservación existentes, y amplía sus logros con un conjunto robusto de principios diseñados para mejorar la integridad, la transparencia y la inclusividad de los créditos de biodiversidad, así como los procesos utilizados para crearlos. Estos principios orientadores, delineados en la Tabla 1, sirven como guía y referencia para el desarrollo de proyectos de conservación de alta calidad que tengan adicionalidad, sean científicamente rigurosos y estén alineados con estrategias más amplias de gestión ambiental (Sarmiento, et al., 2022).

La incorporación de estos principios a la creación y la gestión de las Tebu permite avanzar sistemáticamente en la transparencia, la responsabilidad y la accesibilidad de todo el proceso de emisión de créditos, abordando eficazmente retos clave como las adjudicaciones controvertidas, los procesos complejos de verificación, la trazabilidad de los créditos y la distribución equitativa de los recursos. Este enfoque estratégico no solo fomenta la confianza entre las partes interesadas sino que también asegura que los proyectos de conservación ofrezcan beneficios ecológicos sustanciales y continuos, promoviendo así una mayor participación en el mercado voluntario emergente.¹

Tabla 1. Principios Básicos del Protocolo para la Emisión de Unidades de Biodiversidad de Terrasos en Mercados Voluntarios.

Principio	Descripción
Trazabilidad	Los proyectos deben proporcionar un acceso completo a la información sobre la cadena de valor y a los datos de adjudicaciones de resultados de biodiversidad, incluyendo los resultados detallados de las acciones de monitoreo.
Permanencia	Los proyectos deben establecer condiciones técnicas, administrativas, financieras y jurídicas que garanticen la continuidad de las acciones durante al menos 20 y hasta 50 años.
Rigor	Los proyectos deben demostrar rigor analítico y científico realizando todas las actividades especificadas en el plan de gestión con un monitoreo exhaustivo y adaptable que garantice la obtención de los resultados previstos.
Transparencia	Los proyectos deben participar en procedimientos de consulta pública y abierta, y ofrecer información completa sobre los participantes, sus funciones, los datos de los clientes y los precios.
Adicionalidad	Los proyectos deben producir resultados de conservación verificables que superen aquellos que se producirían sin las intervenciones y contribuir a la reducción de barreras de inversión, institucionales, de tecnología, ambientales, de prácticas prevalecientes, derechos de propiedad y sociales, entre otros.
Complementariedad	Las estrategias y las acciones de los proyectos deben alinearse y apoyar los instrumentos de planificación y gestión medioambiental del territorio, así como las prioridades de conservación nacionales o regionales.
Aplicabilidad	El protocolo debe diseñarse de forma práctica y flexible para facilitar su aplicación en diversos contextos medioambientales, sociales y económicos.

¹Para más información: <https://www.terrasos.co/wp-content/uploads/biodiversity-units-protocol-version-4-0-english.pdf>



4. SISTEMAS DE REGISTRO EN ESQUEMAS DE CRÉDITOS DE BIODIVERSIDAD

4.1

Sistemas de Registro y Protocolos de Créditos

Los sistemas de registro funcionan como la columna vertebral digital de los mercados de biodiversidad, proporcionando una base de datos completa para registrar, verificar y seguir el ciclo de vida de los créditos de biodiversidad. Estos sistemas garantizan la transparencia, la trazabilidad y la rendición de cuentas al facilitar la introducción estructurada de datos, la gestión de transacciones y el seguimiento de la propiedad de los créditos desde su emisión hasta su transferencia y, finalmente, su retiro. Al almacenar información detallada sobre los proyectos, incluidos los documentos de registro, los datos de monitoreo ecológico en curso y los informes de verificación, estos sistemas crean un rastro de auditoría digital transparente y accesible del proceso de creación de créditos.

En el contexto de los programas de créditos de biodiversidad es crucial distinguir entre el “proceso de registro” definido en los protocolos de créditos y el concepto de “registros”. Los protocolos de créditos sirven como marco de referencia que define el proceso, los roles, las responsabilidades y los requisitos para los informes de las diversas partes interesadas involucradas en la creación, la comercialización y el financiamiento de créditos. En cambio los “registros”, o sistemas de registro, proporcionan los medios técnicos para implementar estas funciones, actuando como fuentes independientes y autorizadas de la verdad que responsabilizan a los actores de sus acciones al proporcionar un registro digital de sus contribuciones. Esta delegación clara, además del seguimiento de datos y acciones, garantizan que cada parte entienda y cumpla sus obligaciones. Se crea así un sistema de controles y contrapesos en el que los distintos agentes pueden verificar y validar el trabajo de los demás, reduciendo el riesgo de incurrir en errores o fraudes y mitigando problemas como la doble contabilidad, para fomentar la confianza y la transparencia en el mercado.

4.2

Diseño del Sistema de Registro Tebu

El Protocolo Tebu describe los principios y los procesos esenciales que deben seguir las plataformas de registro para apoyar la integridad de las Tebu. Este exige un disponer de un sistema transparente y rastreable que mejore la eficiencia en el cumplimiento de las acciones que se proponen, que facilite la coordinación de las partes interesadas y que funcione como un repositorio que garantice que las Tebu representen ganancias genuinas y adicionales para la biodiversidad. Esta sección introduce las características clave necesarias para que el Sistema de Registro Tebu cumpla con estos requisitos y proporcione una base tecnológica sólida para el mercado emergente de créditos de biodiversidad.

Características clave del diseño del Sistema de Registro Tebu:



Es crucial distinguir entre el “proceso de registro” definido en los protocolos de créditos y el concepto de “registros”.

- **Gestión del ciclo de vida de los créditos:** El sistema reconoce las características y la propiedad final de los créditos emitidos, garantizando registros claros de propiedad y transferencia a lo largo del ciclo de vida del crédito. Incluye un módulo contable integrado para realizar un seguimiento preciso de los inventarios de créditos, apoyando la eficiencia de las operaciones de mercado. A cada crédito de biodiversidad se le asigna un número de serie único, lo que garantiza el seguimiento individual y evita la doble contabilización.
- **Control de acceso basado en roles y seguimiento de responsabilidades:** El registro define los roles y las responsabilidades de cada actor proporcionando visibilidad sobre quién participó en cada etapa del proceso. Implementa controles de acceso basados en roles garantizando que solo personas autorizadas puedan acceder a información específica. Esta característica equilibra la transparencia con la seguridad de los datos, al tiempo que da cabida a diferentes permisos de usuario basados en los roles cumplidos en el mecanismo de créditos de biodiversidad.

- **Seguridad y confidencialidad de los datos:** El sistema incorpora medidas de seguridad robustas para proteger la información sensible, en línea con los objetivos de construcción de confianza del Protocolo Tebu. Incluye medidas para prevenir filtraciones, fraude y manipulación de la información, garantizando la integridad general de los datos dentro del sistema.
- **Integridad e inmutabilidad de la información:** La plataforma de registro emplea mecanismos que atribuyen la autoría de la información con absoluta certeza. Estos mecanismos previenen modificaciones no autorizadas, apoyando el principio de integridad del protocolo y asegurando que una vez ingresados los datos estos no puedan ser alterados sin la debida autorización y documentación.
- **Trazabilidad de la información:** El sistema rastrea y registra toda la historia y la trayectoria de la información del proyecto y los Créditos de Biodiversidad desde su emisión hasta su cancelación. Esta característica respalda el principio de trazabilidad del Protocolo Tebu, proporcionando un rastro de auditoría completo de todas las actividades dentro del sistema.
- **Secciones públicas y privadas:** La plataforma de registro mantiene secciones tanto públicas como privadas, con condiciones claras para la divulgación de información según los requisitos de cada conjunto de datos y documentos. Esto asegura que la información sensible esté protegida mientras se asegura la transparencia necesaria para el escrutinio público y la confianza en el mercado.

5. INTEGRACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE CONTABILIDAD DIGITAL EN LOS MERCADOS DE BIODIVERSIDAD

5.1

Entender la Tecnología de Contabilidad Distribuida

La Tecnología de Contabilidad Distribuida (DLT), como la *blockchain*, se refiere a sistemas digitales que utilizan técnicas criptográficas para crear registros transparentes, rastreables e inmutables de datos y transacciones a través de una red descentralizada de computadores. Este enfoque innovador en la gestión de datos representa un cambio significativo respecto a los sistemas tradicionales de bases de datos centralizados, ofreciendo mayor seguridad, transparencia y eficiencia en el registro y la verificación de la información.

La DLT opera en una red de nodos, cada uno de los cuales mantiene una copia idéntica del libro de contabilidad. La red de nodos debe validar y consensuar la nueva información antes de agregarla. Este mecanismo de consenso garantiza la integridad y la consistencia de los datos en todo el sistema. En los sistemas *blockchain* la información se organiza en "bloques". Cada bloque contiene un sello de tiempo, datos de transacciones y una referencia al bloque anterior, creando una cadena continua de información. Esta estructura facilita la verificación de la integridad de los datos y proporciona un rastro de auditoría claro de todos los cambios realizados. Una vez registrada la información se vuelve casi imposible de alterar o eliminar, creando un registro a prueba de manipulaciones de todas las transacciones y entradas de datos.

Las acciones de los usuarios en las redes *blockchain* generan transacciones que representan diversas actividades, como la emisión y la gestión de activos digitales como tokens o créditos, la transferencia entre cuentas de usuario, el almacenamiento de conjuntos de datos para mantener un registro seguro y la actualización de metadatos asociados con entidades rastreadas.

La DLT utiliza varias tecnologías clave para garantizar la integridad y la seguridad de los datos:

1. **Funciones de Hash Criptográficas:** algoritmos matemáticos complejos que generan “huellas digitales” únicas para cada dato. Al igual que una máquina que convierte la información en códigos identificables de forma única, crean un sello que se rompe si se manipula, haciendo que cualquier alteración de los datos sea evidente y asegurando que la información registrada permanezca inalterada.
2. **Árboles de Merkle:** estructuras de datos que permiten una verificación eficiente y segura de sets de datos grandes. Funcionan como un árbol

genealógico para los datos, y permiten verificar ramas individuales sin necesidad de examinar todo el árbol, facilitando la comprobación de información específica sin revelar el conjunto de datos completo.

3. **Contratos inteligentes:** acuerdos autoejecutables codificados en el sistema que aplican automáticamente los términos predefinidos cuando se cumplen ciertas condiciones, de manera similar a una máquina expendedora que dispensa un producto cuando se introduce la cantidad correcta de dinero.
4. **Firmas digitales:** mecanismos criptográficos que aseguran la autenticidad y la integridad de un mensaje o transacción. Funcionan como una firma manuscrita en un documento, pero mucho más segura ya que utiliza claves privadas para firmar datos digitalmente, generando una huella única que solo puede ser verificada con la clave pública correspondiente. Cualquier alteración en los datos invalida la firma, asegurando que la información no ha sido manipulada durante su transmisión.

Juntas, estas tecnologías crean una infraestructura computacional descentralizada y distribuida que permite a una red de participantes compartir la responsabilidad de mantener la integridad de los datos. Esto garantiza transacciones seguras, transparentes y verificables, y fomenta la confianza y la fiabilidad en aplicaciones como los esquemas de créditos de biodiversidad.

5.2

Ventajas de la Tecnología de Contabilidad Distribuida en Mercados de Biodiversidad

La Tecnología de Contabilidad Distribuida (DLT) ofrece ventajas transformadoras para los mercados de biodiversidad, principalmente por su capacidad para operar como un sistema de registro robusto. Esta tecnología gestiona de manera eficaz las complejidades de la verificación, la gobernanza, la gestión de datos y la participación de las partes interesadas, aspectos cruciales para garantizar que las actividades conduzcan a resultados reales y medibles en biodiversidad.

El sistema basado en *blockchain* proporciona un registro inmutable de todas las transacciones y los datos del proyecto, permitiendo una verificación transparente por parte de terceros y asegurando la integridad de los créditos de biodiversidad, al tiempo que ofrece una solución escalable para desarrolladores de proyectos, verificadores y compradores de créditos. La inmutabilidad de la tecnología *blockchain* previene la manipulación y el fraude, mientras que la descentralización fomenta una distribución equilibrada del poder entre los participantes.

5.2.1 Seguimiento de Activos y Gestión de Créditos

La DLT mejora significativamente el seguimiento y la gestión de los créditos de biodiversidad al transformarlos en tokens digitales en un *blockchain*. Este sistema no solo registra la propiedad y el historial de transacciones de cada crédito en un registro inmutable sino que asegura los metadatos, garantizando que todo el ciclo de vida del crédito sea transparente y a prueba de manipulaciones. Esta rigurosa transparencia y la capacidad de auditar los registros fácilmente aumentan la confianza entre los participantes del mercado, reduciendo efectivamente las actividades fraudulentas y previniendo el doble conteo. Al utilizar créditos como tokens, la DLT facilita la realización de transferencias seguras y verificables entre usuarios, creando así un mercado dinámico y fluido. Los participantes tienen flexibilidad para comprar, vender o intercambiar créditos de acuerdo con sus objetivos ambientales, lo que contribuye a fomentar un mercado más activo y comprometido. Además, el sistema permite el retiro definitivo de créditos, que se eliminan de circulación una vez que un usuario adjudica los beneficios sociales asociados, garantizando la integridad de cada transacción.

La naturaleza clara y fiable de las transacciones, junto con el impacto garantizado de cada crédito, hacen que el mercado sea más atractivo para inversores y grupos ambientales. A medida que aumenta la participación de más entidades la escala de los esfuerzos de conservación crece, promoviendo mejoras ambientales más significativas y efectivas. Esta amplia participación potencia el impacto global de los mercados de biodiversidad, transformándolos en herramientas poderosas para la conservación a nivel mundial.

5.2.2 Evidencia y Auditabilidad de los Créditos

La DLT ofrece una base sólida para gestionar la evidencia y auditar las adjudicaciones en los mercados de biodiversidad. Esta tecnología garantiza que todas las transacciones y los datos asociados sean transparentes, verificables y seguros, lo que incrementa la confianza y la credibilidad en los impactos ambientales de los proyectos de conservación.

La DLT asegura la integridad y la accesibilidad de la información sobre créditos al permitir que los partici-

pantes de un proyecto registren conjuntos de datos en el *blockchain*. Este proceso, conocido como “anclaje”, implica almacenar registros con sellos de tiempo junto con identificadores únicos, también conocidos como *hashes*. Si los datos se modifican de alguna manera, el *hash* del contenido cambiará, registrando cualquier alteración y preservando la integridad de los datos originales.

Este nivel de transparencia permite a las partes interesadas, incluidos compradores, reguladores y el público, verificar de manera independiente la autenticidad de las adjudicaciones hechas por los desarrolladores de proyectos y los auditores.

Más allá del anclaje, la DLT facilita la certificación de datos, en la que los usuarios proporcionan firmas digitales únicas que autentican la precisión y la veracidad de la información. Esta certificación desempeña un papel crucial al permitir que individuos u organizaciones validen activamente los datos. Las certificaciones actúan como una herramienta poderosa para construir confianza, garantizando que cada evidencia no solo esté registrada en el *blockchain* sino formalmente avalada por una fuente confiable. Este proceso de verificación es esencial para establecer la fiabilidad de las adjudicaciones de resultados ambientales y fomentar la responsabilidad entre todas las partes involucradas.

La combinación de funciones hash criptográficas y firmas digitales mediante DLT asegura la integridad y la autenticidad de los datos enviados. Al vincular cada pieza de evidencia con el usuario que la presentó DLT crea un rastro de auditoría claro y detallado que mejora la rendición de cuentas. Además, la naturaleza descentralizada de DLT distribuye la evidencia a través de una red de nodos, aumentando significativamente la resiliencia de los datos frente a pérdidas o manipulaciones. Esta característica es especialmente valiosa en los mercados de biodiversidad, donde la credibilidad de las adjudicaciones de resultados ambientales es fundamental. Este mecanismo de verificación descentralizado no solo protege los datos contra manipulaciones sino que asegura que resista el escrutinio, manteniendo su valor como un activo confiable para promover y proteger la biodiversidad.

Tabla 2. Definiciones de anclaje y certificación.

Término	Definición
Anclaje	El proceso de registrar un conjunto de datos o una adjudicación en un <i>blockchain</i> , creando un registro a prueba de manipulaciones que garantiza la integridad y la inmutabilidad de la adjudicación.
Certificación	Proceso mediante el cual una persona u organización adjunta su firma digital a una declaración, avalando así su exactitud y autenticidad. El certificador puede ser el autor original de la declaración o un tercero, como un verificador.

5.2.3 Gobernanza y Proceso de Toma de Decisiones

La transparencia y la rendición de cuentas en la gobernanza juegan un papel crucial en el mantenimiento de la integridad de los esquemas de crédito de biodiversidad. La DLT ofrece un marco robusto para gestionar y registrar las acciones de gobernanza relacionadas con el proceso de emisión de créditos de un proyecto específico de manera transparente y rastreable. Este nivel de transparencia permite a las partes interesadas verificar las acciones y los resultados, lo que incrementa la confianza y refuerza la credibilidad de los esfuerzos de conservación.

Además, la DLT ofrece funcionalidades que permiten a los usuarios co-gobernar las acciones realizadas en la red. Al emplear estructuras de gobernanza descentralizadas facilitadas por *blockchain*, las partes interesadas pueden implementar un sistema de controles y contrapesos en el que los usuarios deben proponer, votar y hacer cambios en el protocolo de créditos, o aprobar mutuamente los procesos de registro o emisión. Este enfoque participativo garantiza que las decisiones reflejen los aportes colectivos de todas las partes involucradas, a la vez que mejora la adaptabilidad y la capacidad de respuesta de la gobernanza ante desafíos y oportunidades emergentes, asegurando al mismo tiempo que ninguna parte tenga un control indebido.

6. ARQUITECTURA TÉCNICA PARA EL SISTEMA DE REGISTRO TEBU

6.1

Arquitectura del Protocolo de Créditos

El Protocolo Tebu utiliza la infraestructura *blockchain* de Regen Ledger como sistema de registro, aprovechando el módulo ecocredit para llevar a cabo los procesos de registro de proyectos y emisión de créditos. Este módulo ofrece un marco robusto, transparente y eficiente para la gestión de créditos de biodiversidad. En el núcleo de este sistema se encuentra el concepto de Clases de Créditos (Credit Class, en inglés), que sirve como la abstracción principal para representar el Protocolo Tebu en Regen Ledger. La Clase de Crédito Tebu, identificada por un código único, actúa como un contenedor conceptual distinto dentro del sistema de registro, permitiendo a los usuarios registrar proyectos y emitir créditos bajo el protocolo de créditos establecido. El sistema facilita el registro de proyectos individuales de biodiversidad, asignando a cada uno un identificador único y designando a un Administrador de Proyecto para supervisar los datos asociados en la *blockchain* (documentación del módulo Ecocredit).

Tabla 3. Componentes clave de la arquitectura del protocolo Tebu en Regen Ledger.

Componente	Definición	Identificador Técnico
Clase de Crédito	La abstracción principal para representar el Protocolo Tebu en Regen Ledger es la Clase de Crédito. Esta actúa como un contenedor conceptual distinto dentro del sistema de registro, permitiendo a los usuarios registrar proyectos y emitir créditos conforme al protocolo correspondiente de emisión de créditos.	TEBU-01
Tipo de Crédito	Es la unidad principal de medida para los créditos emitidos bajo una determinada Clase de Crédito. En el caso de Tebu, esta unidad es 10 m ² de un ecosistema preservado y/o restaurado.	TEBU
Proyecto	La abstracción principal para representar un proyecto de biodiversidad individual en Regen Ledger. Los proyectos registrados en una Clase de Crédito tienen un identificador único, y los datos asociados en la cadena de bloques son gestionados por un Administrador del proyecto designado.	TEBU-01-001
Lote de Créditos	Una cantidad discreta de créditos emitidos a un proyecto al alcanzar hitos específicos. Cada lote de créditos tiene un identificador único que corresponde al ID del Protocolo, al ID del proyecto, a las fechas de informe de hitos y al número del lote. Los lotes de créditos asociados con el proyecto registran el número total de créditos activos (transaccionables y retirados) y cancelados.	TEBU01-001-20210101-20220101-001
Créditos	Las cantidades individuales de créditos dentro de un lote que están en poder de los usuarios pueden encontrarse en un estado transaccionable o retirado. Los créditos transaccionables pueden ser transferidos, listados para la venta o retirados por su propietario. Los propietarios pueden ser administradores de proyectos, compradores de créditos o cuentas especialmente designadas gestionadas por el protocolo.	

Créditos emitidos bajo un Tipo de Crédito específico y predefinido, que representa la unidad principal de medida. En el Protocolo Tebu esta unidad equivale a 10 m² de un ecosistema preservado y/o restaurado, y se denota simplemente como TEBU. La emisión de créditos se lleva a cabo por lotes, en un proceso en el que se emiten cantidades discretas de créditos a un proyecto al alcanzar hitos específicos. Cada lote de créditos recibe un identificador único que incluye el ID del Protocolo, el ID del proyecto, las fechas de informe de hitos y el número del lote (por ejemplo, TEBU01-001-20210101-20220101-001). Estos lotes rastrean el número total de créditos negociables, retirados y cancelados asociados con el proyecto. La Figura 1 ilustra la relación entre los protocolos de emisión de créditos, los proyectos y los lotes de créditos en la arquitectura del Protocolo Tebu.

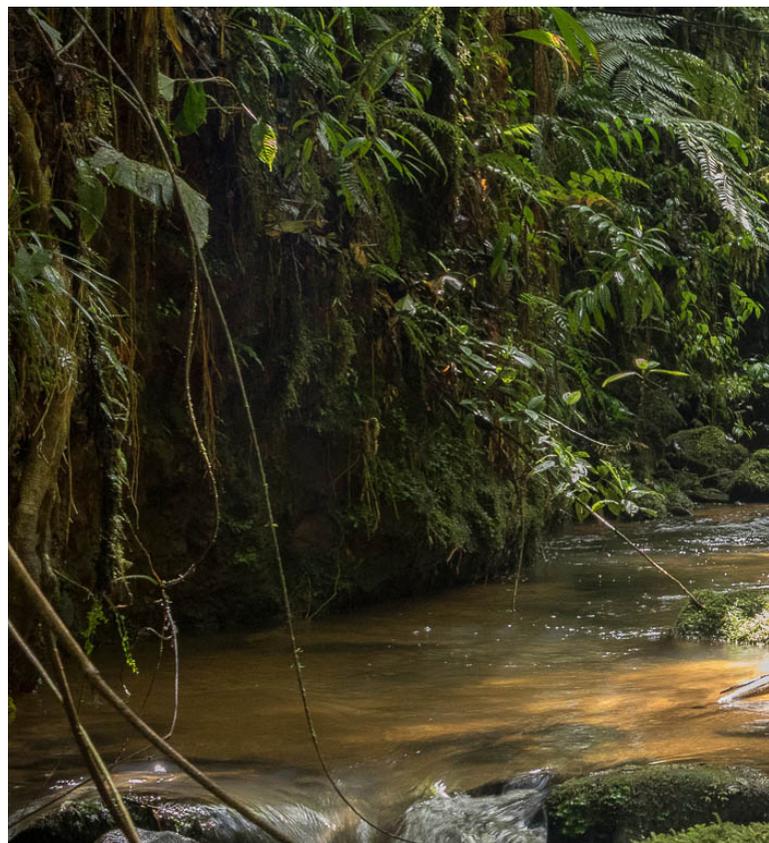
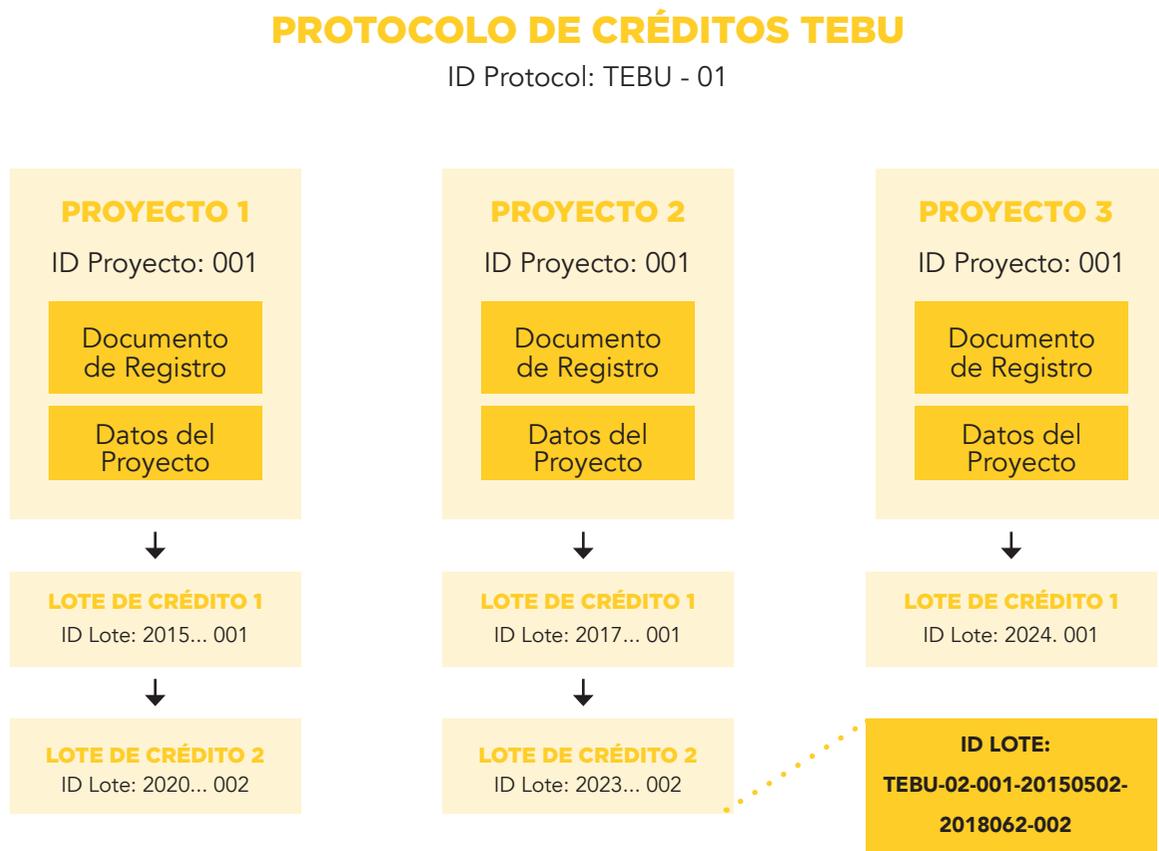


Figura 2. Arquitectura técnica del protocolo Tebu utilizando el módulo Ecocredit de Regen Ledger.



Los créditos individuales de un lote pueden encontrarse en estado negociable o retirado. Los créditos negociables pueden ser transferidos, puestos a la venta o retirados por su propietario, quien puede ser un administrador del proyecto, un comprador de créditos o una cuenta especialmente designada y gestionada por el protocolo. Este sistema flexible asegura una gestión y un seguimiento eficaces de los créditos a lo largo de su ciclo de vida, desde su emisión hasta su retirada.

6.2

Roles de los Actores de Proyecto y el Sistema de Registro y Roles en el Proceso de Emisión de Créditos o Unidades

El Protocolo Tebu define tres roles principales para operar una Clase de Crédito: Administradores de Clases de Crédito, Agentes de Registro y Administradores de Proyecto. Cada rol tiene permisos técnicos específicos dentro del módulo de ecocrédito, garantizando una clara delimitación de responsabilidades y manteniendo la integridad del sistema. Además, el protocolo reconoce un cuarto rol crucial: el del Verificador. Estas funciones, cada una con responsabilidades distintas, constituyen la estructura operativa central del Protocolo Tebu.

Los Administradores de Clases de Crédito tienen el nivel más alto de autoridad dentro de una clase de crédito. Controlan el protocolo de emisión de créditos y poseen la capacidad técnica para designar Agentes de Registro y gestionar los metadatos del Protocolo almacenados en el Regen Ledger. Los Agentes de Registro, conocidos como ‘emisores’ en la documentación técnica, tienen la capacidad técnica para registrar proyectos y emitir lotes de créditos a los proyectos registrados, siguiendo el calendario de liberación de créditos. Los Administradores de Proyecto gestionan proyectos individuales dentro del sistema.

Sus permisos técnicos les permiten presentar diversos documentos relacionados con el proyecto y gestionar los metadatos del proyecto almacenados en el Regen Ledger. Además de sus capacidades técnicas, cada uno de estos actores tiene otras responsabilidades, que se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4. Roles de los principales actores en el proceso de registro de proyectos y emisión de créditos.

Actor	Definición del rol
Administrador del protocolo de crédito	<ul style="list-style-type: none"> a) Gestionar técnicamente la lista de Agentes de Registro autorizados que pueden registrar proyectos y emitir créditos en el marco del Protocolo. b) Gestionar los metadatos en cadena para la Clase de Crédito. c) Gestionar el organismo de gobierno del Protocolo Tebu, identificando y distribuyendo las responsabilidades entre las entidades.
Administrador de proyectos	<ul style="list-style-type: none"> a) Presentar el plan del proyecto, los informes de seguimiento, los informes de verificación y la documentación complementaria para el registro del proyecto. Garantizar que la documentación presentada sea correcta. b) Principal punto de contacto con el registro una vez aceptado un proyecto. c) Contraparte responsable de gestionar y distribuir los créditos emitidos. d) Cargar los metadatos del proyecto
Agente de registro	<ul style="list-style-type: none"> a) Comprobar que los documentos básicos, como el documento de registro y los informes de verificación, así como los conjuntos de datos complementarios estén completos. b) Registrar el proyecto de acuerdo con la correcta ejecución de las actividades previstas en el Protocolo Tebu y la aprobación del Verificador. c) Emitir lotes de créditos a los proyectos registrados de acuerdo con el calendario de liberación de créditos y la aprobación del Verificador.
Verificador	<ul style="list-style-type: none"> a) Evaluar el documento de registro y garantizar el cumplimiento de los hitos, las normas de rendimiento y el esquema de liberación. b) Realizar una auditoría independiente de los hitos de cumplimiento para garantizar la recuperación de la biodiversidad antes de aprobar la emisión del crédito. c) Firmar digitalmente los datos y documentos básicos anclados en Regen Ledger para indicar la aprobación del registro del proyecto y los procesos de emisión de créditos.

Aunque no están definidos directamente en el módulo de ecocrédito, los verificadores juegan un papel crucial para asegurar la integridad y la credibilidad del proceso de emisión de créditos de biodiversidad. Pueden mantener una cuenta en la cadena (*on chain*) y realizar actividades esenciales como evaluar los documentos de registro, proporcionar auditorías independientes de los hitos de cumplimiento, y firmar digitalmente los datos y documentos clave almacenados en el

Regen Ledger. Los verificadores garantizan que la gestión de las Tebu se realice de manera transparente y que su venta represente realmente ganancias verificables en biodiversidad.

El sistema de registro implementado en el Regen Ledger respalda estos roles y juega un papel crucial en el almacenamiento de datos y en la provisión de un rastro digital de auditoría de acciones, actividades, transacciones y datos a lo largo de todo el proceso (Figura 3).

Figura 3. Proceso de Registro y Emisión de Unidades de un Proyecto Tebu.



Al permitir a los usuarios anclar referencias a datos en la cadena de bloques, el sistema de registro permite a los actores verificar con confianza la autenticidad de los documentos comparándolos con la versión cifrada en la cadena de bloques. Este registro inmutable facilita procesos de verificación más claros y rápidos, ayuda a resolver disputas y agiliza el proceso de registro y emisión.

6.3

Cuantificación y Emisión de Créditos

6.3.1 Cuantificación de Créditos

El Protocolo Tebu utiliza una metodología exhaustiva para cuantificar las Unidades de Biodiversidad. Los desarrolladores de proyectos evalúan el área del proyecto considerando cuatro factores clave: la Categoría de Amenaza del Ecosistema según la UICN, las oportunidades de conectividad ecológica, la duración del proyecto, y las acciones de preservación y restauración. Estos factores, junto con el área total del proyecto, determinan el número potencial de créditos que puede emitir un proyecto. Los desarrolladores registran esta cuantificación en el Documento de Registro, el cual debe ser verificado y aprobado por un verificador externo a través de la plataforma de registro seleccionada antes de proceder con la liberación de créditos. Este proceso asegura que la cuantificación de los créditos se base en evaluaciones ecológicas rigurosas y que cumpla con los estándares del protocolo para la conservación de la biodiversidad.

6.3.2 Liberación de Créditos

Los Agentes del Registro solo liberan créditos para la venta cuando los proyectos alcanzan hitos ecológicos y de gestión, como se indica en el esquema de liberación (Figura 1). El proceso consta de varios pasos:

- 1. Monitoreo de Cumplimiento e Hitos de Desempeño Ecológico y de Gestión:** los propietarios de proyectos, desarrolladores y monitores externos recopilan datos ecológicos y elaboran informes de monitoreo, documentando el avance hacia los objetivos de conservación de la biodiversidad y los objetivos de gestión establecidos en el documento de registro.
- 2. Verificación por Terceros:** un verificador independiente y calificado evalúa rigurosamente los informes de monitoreo, confirmando la precisión de los resultados de biodiversidad reportados y asegurando el cumplimiento de los estándares del Protocolo Tebu.
- 3. Emisión de Créditos:** tras una verificación exitosa, los Agentes de Registro emiten créditos en lotes discretos, cada uno con un identificador único, que reflejan las mejoras ecológicas validadas y permiten un seguimiento transparente de las ganancias en biodiversidad.

Cada lote de créditos recibe un identificador único que incluye el identificador de protocolo, el identificador de proyecto, las fechas de inicio y fin del periodo de seguimiento de hitos, y un identificador de lote (por ejemplo, TEBU01-001-20210101-20220101-001) (Figura 4). Una vez registrados en la cadena de bloques, estos metadatos se vuelven inmutables, lo que garantiza la coherencia y la fiabilidad de los datos a lo largo del ciclo de vida del crédito.

Figura 4. Identificación del lote de créditos

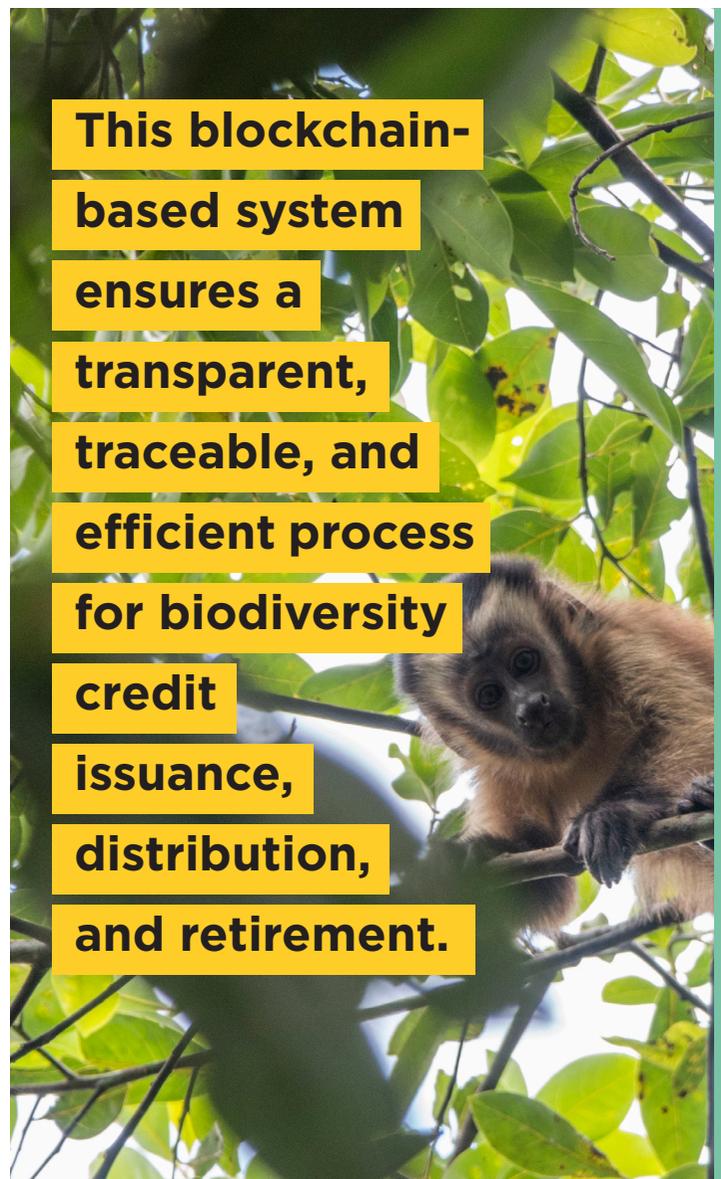
IDENTIFICACIÓN DEL LOTE DE CRÉDITOS

[ID Protocolo] - [ID Proyecto] - [Fecha Inicio] - [Fecha Final] - [Numero de Lote]
TEBU -01-001-20150502-20180602-002

Los créditos dentro de un mismo lote son fungibles entre sí, lo que significa que pueden ser negociados indistintamente. Sin embargo, los créditos de diferentes lotes, incluso dentro del mismo proyecto, no son fungibles. Esta distinción permite un seguimiento preciso del origen de los créditos, al tiempo que facilita el comercio eficiente dentro de los lotes. También posibilita la implementación de políticas específicas, como seguros y reservas, adaptadas a los lotes de créditos.

6.3.3 Distribución, Titularidad y Retiro de Créditos

Una vez emitidos, los créditos Tebu se mantienen en una cuenta identificada por una dirección en la cadena que designa la propiedad del crédito. Los créditos negociables son aquellos que pueden transferirse entre entidades, permitiendo un mercado dinámico en el que las ganancias ecológicas pueden ser compradas y vendidas. En contraste, la retirada de un crédito es una acción irreversible que indica que el crédito ha sido reclamado por un usuario, sacándolo de circulación y marcándolo como retirado en la cadena de bloques. En cualquier momento un propietario de créditos negociables puede retirar algunos o todos sus créditos. El módulo ecocredit de Regen Ledger proporciona funciones de mercado para el comercio de créditos, permitiendo a los vendedores publicar créditos con restricciones específicas de precio y opciones de retiro. El libro de contabilidad registra todas las transacciones, asegurando una distribución y una trazabilidad transparentes de los créditos. Este sistema basado en *blockchain* garantiza un proceso transparente, trazable y eficiente para la emisión, la distribución y el retiro de créditos de biodiversidad.



7. ARQUITECTURA TÉCNICA PARA ADJUDICACIONES DE DATOS AUDITABLES

7.1

Adjudicaciones en el Protocolo Tebu

El Protocolo Tebu basa los créditos de biodiversidad en una infraestructura de adjudicaciones sobre resultados ecológicos. Estas adjudicaciones representan afirmaciones sobre acciones de gestión de tierras y condiciones ecológicas realizadas por partes específicas, como desarrolladores de proyectos, monitores o verificadores. Las adjudicaciones pueden variar desde abstracciones generales de alto nivel hasta detalles específicos de bajo nivel, cada una respaldada por evidencia acopiada a través de un monitoreo y una observación rigurosa. Cada adjudicación incluye elementos clave: la afirmación en sí, la parte que realiza la adjudicación, la evidencia de respaldo y el estado de verificación.

Las adjudicaciones pueden ser de alto nivel y abstractas (por ejemplo, 'la densidad poblacional de la especie en peligro ha aumentado un 20% en el último año'), o de bajo nivel y específicas (por ejemplo, marcas de tiempo individuales y registros de eventos de monitoreo de especies durante una visita al sitio en el que se ejecuta un proyecto). Estas adjudicaciones están respaldadas por evidencia compuesta por datos o información recopilada mediante monitoreo y observaciones. Las pruebas corroboran la validez de las adjudicaciones sobre los estados ecológicos y las actividades de gestión. La Tabla 1 ilustra ejemplos de adjudicaciones ecológicas correspondientes a unidades de medida y variables del Protocolo Tebu (Sarmiento et al., 2022).

Tabla 5. Ejemplos de adjudicaciones de resultados ecológicos en el Protocolo Tebu.

Grupo	Variable	Ejemplo de Adjudicación
Vegetación	Disimilitud	El índice de disimilitud entre la zona restaurada y la parcela de referencia, medido mediante el índice de similitud de Jaccard, es de 0,35 a 1 de mayo de 2024.
Vegetación	Riqueza de especies	A 1 de mayo de 2024, la riqueza de especies en la zona restaurada incluye 120 especies distintas, lo que indica un aumento de la biodiversidad desde el inicio de las acciones de restauración.
Fauna	Composición	El tamaño estimado de la población de murciélagos de la subfamilia <i>Phyllostomidae</i> en la zona restaurada es de 500 individuos a 1 de mayo de 2024, según la metodología de captura, marcado y recaptura.
Suelos	Química	Los niveles de pH del suelo en la zona restaurada se miden en 6,5 a 1 de mayo de 2024, lo que indica unas condiciones óptimas para el crecimiento de la vegetación.
Suelos	Físico	El porcentaje de materia orgánica en el suelo de la zona restaurada ha alcanzado el 5% a 1 de mayo de 2024, lo que refleja una mejora de la salud y la fertilidad del suelo.

Las adjudicaciones contienen elementos objetivos y subjetivos, mientras que el contenido suele representar hechos objetivos (por ejemplo, los niveles de pH del suelo). La adjudicación encarna una naturaleza subjetiva debido a su autoría. La identidad del autor de la adjudicación tiene la misma importancia que su contenido, lo que subraya la necesidad de una atribución clara en la infraestructura del Protocolo.

El Protocolo Tebu organiza su proceso de emisión de créditos en torno a una serie de adjudicaciones interrelacionadas, asegurando que cada crédito represente

un conjunto de mejoras ecológicas validadas y proporcionando un mecanismo transparente y fiable para el seguimiento y el comercio de las ganancias de biodiversidad. Los desarrolladores de proyectos presentan adjudicaciones iniciales en sus informes de hitos, que luego son revisadas. Posteriormente, verificadores independientes validan estas adjudicaciones añadiendo un nivel adicional de credibilidad. Este proceso de múltiples etapas requiere una infraestructura técnica que mantenga vínculos duraderos y consultables entre el contenido de las adjudicaciones, los autores y los verificadores.



7.2

Evidencia y Manejo de Adjudicaciones para Proyectos Tebu

El Protocolo Tebu implementa un sistema robusto para la gestión de pruebas y adjudicaciones utilizando el Módulo de Datos de Regen Ledger. Cuando los promotores de proyectos presentan adjudicaciones iniciales en documentos de registro e informes de hitos, el Módulo de Datos ancla estas adjudicaciones con una marca de tiempo a prueba de manipulaciones. Este anclaje asegura de manera efectiva la existencia de la adjudicación en un momento específico mediante hashes de contenido identificables de forma única. Posteriormente, cuando los verificadores externos validan estas adjudicaciones, se puede confirmar la integridad de los datos anclados. Este enfoque transforma la red de conjuntos de datos y adjudicaciones almacenados en la cadena en una 'red de certificación', donde las adjudicaciones en capas que sustentan los créditos cuentan con señales de confianza explícitas que identifican al autor y a las partes que las han verificado o ratificado.

Para garantizar adecuadamente la integridad y la trazabilidad de las pruebas que respaldan los créditos Tebu, los actores del proyecto deben priorizar prácticas rigurosas de gestión de datos. La Tabla 6 resume los requisitos técnicos mínimos e ideales para la gestión de pruebas y adjudicaciones en los proyectos Tebu. Aunque el Protocolo acepta adjudicaciones en texto legible por humanos, recomienda enfáticamente un enfoque más riguroso que utilice esquemas de datos bien definidos en formatos legibles por máquinas, como JSON-LD. Este enfoque facilita la transición de adjudicaciones abstractas de alto nivel a detalles específicos de bajo nivel, al tiempo que mantiene un vínculo claro con las pruebas que las sustentan.

Tabla 6. Requisitos Técnicos de la Gestión de Evidencia y Adjudicaciones para Proyectos Tebu.

Término	Requisitos Técnicos Mínimos	Requisitos Técnicos Ideales
Contenido de la adjudicación	Lista de tipos de archivos, formatos y tablas específicas requeridas para todos los informes de monitoreo y verificación. Detalles sobre que afirmaciones de la adjudicación (escritas en lenguaje natural) son necesarias para cumplir con estándares de desempeño específicos.	Definiciones de formatos de datos legibles por máquina (en JSON-LD), incluyendo las definiciones de esquemas en SHACL o JSON para cualquier adjudicación requerida por los estándares de desempeño, así como todos los esquemas de datos para toda la información cuantitativa requerida en los informes de monitoreo y verificación.
Certificación de metadatos	Nombre e información de contacto de todas las personas y organizaciones que deben autorizar o firmar los informes de monitoreo, informes de verificación o adjudicaciones individuales.	Claves públicas criptográficas o direcciones de billetera en la cadena de bloques para cualquier individuo u organización que esté obligado a firmar o autorizar informes de monitoreo, informes de verificación o adjudicaciones individuales.

7.3

Ventajas de un Enfoque Basado en Estándares

Adoptar un enfoque basado en estándares en el diseño de la infraestructura técnica de Tebu ofrece ventajas significativas para almacenar, anclar y certificar las adjudicaciones de datos. Priorizar la estandarización de las taxonomías de datos, ontologías, esquemas y formatos técnicos convierte los datos y las adjudicaciones en formatos legibles por máquinas, como JSON, facilitando la elaboración de informes usando software, la verificación y la auditoría automática de las adjudicaciones.

Para garantizar una adopción consistente entre organizaciones y desarrolladores de protocolos de crédito es esencial que las adjudicaciones de datos ecológicos utilicen no solo el mismo formato de archivo sino también un vocabulario estandarizado. Este enfoque refleja los esfuerzos de estandarización exitosos en otros campos científicos, como el Modelo CRDC Armonizado del Instituto Nacional del Cáncer y el Modelo Biolink para gráficos de conocimiento biológico, que han acelerado los esfuerzos de investigación y hecho la información más accesible en toda la industria.^{2,3}

La infraestructura diseñada para respaldar adjudicaciones de resultados ecológicos auditables en mercados de biodiversidad debería adoptar un enfoque similar, utilizando JSON-LD y aprovechando los estándares de datos existentes cuando sea apropiado. Esto permite que las adjudicaciones de datos sean consultadas por organizaciones, protocolos e instituciones, creando un gráfico de conocimiento de datos ecológicos abiertos que podría ser aprovechable para la investigación en ciencias climáticas y para comprender las relaciones entre las actividades de gestión y los resultados en biodiversidad.

Mediante el uso de JSON-LD y el aprovechamiento de los estándares de datos existentes, el Protocolo Tebu puede crear una infraestructura sólida para las adjudicaciones de resultados ecológicos auditables en los mercados de biodiversidad. Este enfoque permite la consulta de datos entre organizaciones, protocolos e instituciones, lo que podría revolucionar nuestra comprensión sobre los esfuerzos y los resultados de la conservación de la biodiversidad.

²Para más información: <https://cancerdhc.github.io/ccdhmodel/v1.1/home/>

³Para más información: <https://biolink.github.io/biolink-model/>

7.4

Almacenamiento de Datos, Divulgación Selectiva y Privacidad en el Protocolo Tebu

Aunque el Protocolo de Tebu prioriza la transparencia y los datos ecológicos abiertos, también reconoce la necesidad de mantener la privacidad en determinadas circunstancias. Los propietarios de tierras o los desarrolladores de proyectos pueden exigir que determinados documentos o adjudicaciones sigan siendo confidenciales y solo se compartan cuando sea necesario. Para abordar este equilibrio entre transparencia y privacidad, el protocolo aprovecha las capacidades del módulo de datos Regen Ledger para establecer si los conjuntos de datos son públicos o privados.

Este enfoque garantiza que los conjuntos de datos puedan pertenecer o ser gobernados y controlados por las partes que los cargan. Los proveedores de almacenamiento pueden aplicar diversas restricciones, como limitar el acceso a los datos de documentación del proyecto a los usuarios que hayan adquirido los créditos de biodiversidad del proyecto o restringir el acceso a informes de seguimiento específicos o resultados de pruebas de laboratorio a verificadores externos autorizados.

Para garantizar la auditabilidad de los sets de datos privados, el módulo de datos utiliza identificadores de recursos internacionalizados (IRI) (Michel Suignard et al., 2003). Los IRI sirven como hashes de contenido que identifican de forma única cada dato, haciéndolo rastreable y verificable sin revelar los datos específicos. Este sistema permite a las partes interesadas verificar la autenticidad e integridad de los datos manteniendo su confidencialidad.

Al presentar un Documento de Registro para un proyecto Tebu los desarrolladores deben especificar claramente qué conjuntos de datos y documentos serán de acceso público y cuáles deben ser privados. Para los datos privados el Documento de Registro debe detallar quién tendrá acceso a cada documento y en qué condiciones (por ejemplo, compradores, verificadores externos, operadores de registro). Esto asegura que el proyecto mantenga su transparencia, al tiempo que respeta las necesidades de confidencialidad de las partes interesadas, como los propietarios de tierras o los proveedores de servicios técnicos.

8. GOBERNANZA DEL PROTOCOLO TEBU

8.1

Direcciones, Gestión de Cuentas en Cadena y su Relación con la Gobernanza

La gestión eficaz de las cuentas de *blockchain* es crucial para mantener la integridad y la funcionalidad de los sistemas de DLT. La flexibilidad de los distintos tipos de cuentas de *blockchain* permite acoger diversas estructuras organizativas facilitando la participación y la gobernanza efectiva tanto de individuos como de instituciones. En esta sección se analizan distintos métodos de gestión de cuentas de *blockchain* y su importancia para la gobernanza en el contexto de la DLT.

Una dirección en una plataforma DLT sirve como identificador único de una cuenta. Las estructuras organizativas tras una dirección pueden ir desde usuarios individuales hasta instituciones, y con la componibilidad estas a pueden formar complejas estructuras de control y gobernanza a través de configuraciones anidadas o interconectadas. Las cuentas suelen utilizarse indistintamente con las direcciones, pero técnicamente se refieren a las entidades que gestionan funciones en el Protocolo a través de estas direcciones. Existen varios sistemas para gestionar estas cuentas:

- **Cuentas y billeteras individuales:** Las cuentas individuales o billeteras representan la forma más básica de gestión dentro de una *blockchain*. Estas direcciones DLT pertenecen a usuarios particulares y sirven como unidad fundamental de identidad en el Protocolo. Pueden almacenar divisas, enviar transacciones y participar en la gobernanza. Los tipos de cuentas de nivel superior se basan en estas cuentas individuales.
- **Cuentas multifirma (Multi-Sigs):** Las cuentas multifirma, o Multi-Sigs, mejoran la seguridad al requerir el consenso de varios usuarios antes de ejecutar transacciones. Controladas por múltiples billeteras, estas cuentas solo procesan transacciones cuando un número predefinido de usuarios está de acuerdo, distribuyendo así el control de ellas y mitigando el riesgo de que se efectúen acciones no autorizadas. Generalmente, cada dirección participante en una cuenta multifirma tiene el mismo poder de voto, similar a una cuenta

bancaria conjunta que requiere múltiples firmas para autorizar transacciones.

- **Cuentas de grupo:** Basadas en el marco de *multisig*, las cuentas de grupo añaden una capa de gobernanza jerárquica al permitir la votación ponderada entre los miembros. Estas cuentas proporcionan un control más granular sobre las decisiones y pueden reflejar las diferentes participaciones o roles de los miembros dentro del grupo. La funcionalidad de cuentas de grupo es ofrecida por el módulo de grupo de Regen Ledger⁴.
- **Organizaciones Autónomas Descentralizadas (DAO):** Representando la forma más avanzada de gestión de cuentas de *blockchain*, las DAO funcionan mediante estructuras de gobierno autónomas que pueden implementar diversos sistemas de votación, como “una persona, un voto”; votación ponderada; y votación basada en tokens, donde la influencia en la votación está determinada por la cantidad de tokens poseídos. Las DAO se adaptan a necesidades de gobernanza complejas y dinámicas, permitiendo la creación de múltiples niveles de subgrupos (sub-DAOs) con funciones y responsabilidades específicas. Gracias a su naturaleza componible, las DAO pueden gestionar desde simples aprobaciones grupales hasta estructuras organizativas complejas, similares a gobiernos federales. Herramientas como DAODAO y Gnosis Zodiac ofrecen la infraestructura necesaria para implementar estos modelos avanzados de gobernanza.^{5,6}



⁴Para más información: <https://docs.cosmos.network/v0.46/modules/group/>

⁵Para más información: <https://daodao.zone/>

⁶Para más información: <https://github.com/gnosisguild/zodiac>

8.2

Cómo la DLT Puede Mejorar la Gobernanza del Protocolo Tebu

Aunque el Protocolo de emisión de créditos de Tebu funciona actualmente sin estructuras de gobernanza basadas en *blockchain*, aprovechar la flexibilidad de la gestión de direcciones de *blockchain* podría facilitar una gestión y unas operaciones más fluidas, y minimizar los conflictos de interés para garantizar mayor transparencia, responsabilidad y participación de las partes interesadas en la administración del proceso de emisión.

La Figura 5 ilustra un posible modelo de gobernanza para el protocolo que utiliza una DAO para descentralizar la gestión de los diferentes elementos del proceso de emisión de créditos. En este escenario, subcomités especializados, cada uno asociado a su propia dirección de *blockchain*, asumirían responsabilidades específicas dentro del Protocolo de emisión de créditos de biodiversidad. Por ejemplo, un subcomité de Desarrollo de Protocolos podría centrarse en la revisión y la actualización de metodologías y documentos de protocolo, gestionando una dirección que almacene la documentación oficial. Un Subcomité de Verificación y Cumplimiento podría supervisar la aprobación y el seguimiento de los verificadores, realizando auditorías para garantizar que estas partes cumplan los estándares exigidos.

Figura 5. Ejemplo de estructura de gobernanza para el protocolo Tebu utilizando una DAO.



La implementación de un sistema de este tipo permitiría al protocolo Tebu adoptar diversas estructuras de gobernanza, respaldando tanto modelos centralizados como descentralizados, según las necesidades. Proporcionaría la capacidad técnica necesaria para garantizar estas estructuras mediante la asignación del ejercicio de autoridad a partes interesadas específicas para registrar proyectos y emitir créditos de acuerdo con normas predefinidas. La adopción de herramientas de gobernanza basadas en *blockchain* podría facilitar la inclusión de comunidades locales y permitir la creación

de comités de supervisión compuestos por múltiples partes interesadas. Estos comités podrían supervisar la aplicación del Protocolo, revisar los resultados de las auditorías y formular recomendaciones de mejora. En última instancia, este enfoque mejoraría la eficiencia, la transparencia y la adaptabilidad del Protocolo a las diversas necesidades de las partes interesadas y a la evolución de las mejores prácticas en la conservación del medio ambiente, aumentando potencialmente la confianza, la participación y la eficacia en los esfuerzos de conservación de la biodiversidad.



8.3

Gobernanza de la Regen Ledger Network y su Relación con el Protocolo Tebu

La adopción de Regen Ledger para el Protocolo Tebu requiere entender que la gobernanza pública controla la infraestructura subyacente de *blockchain*. Regen Network, al igual que otras *blockchains* basadas en prueba de participación (*proof of stake*), utiliza una capa base de gobernanza donde los poseedores de tokens deciden sobre las funcionalidades fundamentales de la red.

Esta estructura de gobernanza implica someter a votación actualizaciones del software que puedan introducir nuevas funcionalidades o modificar la red. Las propuestas recientes han incluido la incorporación de capacidades de contratos inteligentes y mejoras en las interfaces de cuentas grupales.

Si bien este sistema ofrece los beneficios de la descentralización y la participación comunitaria, es crucial que los interesados en el Protocolo Tebu participen activamente en esta gobernanza junto con otros miembros de la comunidad. Esta participación permite la co-propiedad y el control sobre la plataforma, brindando a la comunidad Terrasos la oportunidad de influir en la dirección futura de la tecnología subyacente que respalda el Protocolo Tebu. Al involucrarse en la gobernanza de la red, la comunidad Terrasos puede ayudar a asegurar que las capacidades en evolución de Regen Ledger se alineen con las necesidades y la visión de los esfuerzos de conservación de la biodiversidad.

9. LIMITACIONES

9.1

Accesibilidad de la Plataforma

Las complejidades técnicas de utilizar DLT para implementar y gestionar el Protocolo Tebu presentan desafíos de accesibilidad. Los requisitos de gestión de claves y experiencia en el dominio crean barreras significativas, lo que podría excluir al público objetivo del Protocolo. Para abordar estos problemas, el sistema necesita interfaces simplificadas para partes interesadas no técnicas, como gestores de tierras, responsables de proyectos de conservación y financiadores. Además, Terrasos y sus socios deben ofrecer recursos educativos y programas de capacitación. La organización de *hackatones* y de iniciativas de capacitación puede proporcionar oportunidades de aprendizaje práctico y fomentar la innovación en la conservación de la biodiversidad, haciendo que el sistema de créditos basado en DLT sea más inclusivo e impactante.

9.2

Retos de Seguridad de las Redes Descentralizadas

Las *blockchains* como Regen Ledger enfrentan desafíos de seguridad únicos debido a su naturaleza distribuida. La implementación de la Prueba de Participación (PoS, por su sigla en inglés) en el sistema corre el riesgo de centralizar el poder y la riqueza de la red con el tiempo. Además, la ausencia de una autoridad central hace que los esfuerzos de seguridad coordinada sean más complejos, ya que las responsabilidades están distribuidas entre múltiples nodos y participantes.



9.3

Limitaciones de los Modelos de Gobernanza Descentralizada

Los modelos de gobernanza descentralizada, aunque ofrecen beneficios como una mayor transparencia y participación de las partes interesadas, también presentan desafíos para el sistema Tebu. Una alineación inadecuada entre los actores puede ralentizar la innovación o generar conflictos entre los miembros de la red. Una cultura de gobernanza deficiente puede socavar la legitimidad de la red, de modo similar a los problemas que enfrentan los sistemas democráticos.

Además, estos modelos pueden dificultar el progreso tecnológico, especialmente en la capa de Protocolo⁷. Encontrar un equilibrio entre la legitimidad proporcionada por una evolución lenta y la necesidad de una rápida adaptación a las circunstancias cambiantes en la conservación de la biodiversidad representa un desafío.

Para hacer frente a estas limitaciones esperamos enfocarnos en establecer marcos y procesos de gobernanza claros que promuevan la alineación, la colaboración y la toma de decisiones efectiva entre las partes interesadas. La comunicación y el compromiso continuos con la comunidad pueden contribuir a fomentar una cultura de gobernanza positiva y asegurar que la plataforma evolucione de manera que beneficie a todos los participantes. Si abordamos estos desafíos de manera proactiva podremos crear un modelo de gobernanza descentralizada más sólido y eficiente para el Protocolo Tebu.

10. CONCLUSIÓN

La integración de la Tecnología de Contabilidad Distribuida (DLT) en los sistemas de emisión de créditos de biodiversidad, como ejemplifica el Protocolo Tebu, representa un avance significativo en la mejora de la integridad y la eficacia de los mercados voluntarios de biodiversidad. Al aprovechar las capacidades de registro inmutable de DLT, la gobernanza descentralizada y el seguimiento transparente de activos para implementar sistemas de registro avanzados, el Protocolo Tebu permite el seguimiento seguro y transparente de las Tebu a lo largo de su ciclo de vida. Proporciona un marco robusto para la gestión de adjudicaciones de resultados ecológicos, mejorando la auditabilidad y fomentando la confianza entre las partes interesadas. Aunque persisten desafíos en términos de accesibilidad y gobernanza, los beneficios potenciales de este enfoque son sustanciales.

El éxito de la DLT en la conservación de la biodiversidad depende de la continua colaboración entre tecnólogos, ecólogos, responsables de políticas y comunidades locales. A medida que refinamos estos sistemas, nos acercamos a un mercado más equitativo, eficiente e impactante para la conservación de la biodiversidad. Esta innovación abre el camino hacia un futuro en el cual la tecnología y la ecología convergen para crear impactos positivos duraderos en la biodiversidad de nuestro planeta.

⁷Una *blockchain* tiene 3 capas: protocolo, red y aplicación. En este caso se hace referencia a la capa de protocolo.

11. BIBLIOGRAFÍA

Data Module Concepts | Regen Ledger Documentation. (2022, July 16).
https://docs.regen.network/modules/data/01_concepts.html

Ecocredit Module | Regen Ledger Documentation. (2021, October 29).
https://docs.regen.network/modules/data/01_concepts.html

Gradeckas, S. (2024, March 25). Deep Dive: Biodiversity credit demand. Bloom Labs.
<https://sgradeckas.substack.com/p/deep-dive-biodiversity-credit-demand>

Open-ended Working Group on the Post-2020 Global Biodiversity Framework. (2022). Draft recommendation submitted by the Co-Chairs. In Open-ended Working Group on the Post-2020 Global Biodiversity Framework.
<https://www.cbd.int/doc/c/409e/19ae/369752b245f05e88f760aeb3/wg2020-05-l-02-en.pdf>

Michel Suignard, Dürst, M. J. & Suignard, M. (2003, January). RFC 3987: Internationalized Resource Identifiers (IRIS). Internet Engineering Task Force Datatracker.
<https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc3987>

Sarmiento, M., Del Valle, E., López, A., Osorio, F., Hincapié Posada, J. E., Vieira Muñoz, M. I., The Nature Conservancy & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Bancos de habitat: Mecanismo para la implementación de compensaciones bióticas.

Sarmiento, M., Grisales, V., Rodríguez, M. L., Navas, A., Serna, M. (November, 2022). Protocol for Issuing Voluntary Biodiversity Credits V3.
www.terrasos.co/wp-content/uploads/20-protocol-for-issuing-voluntary-biodiversity-credits-beta-english.pdf

State of New South Wales (Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water). (2011, February 27). Questions and answers about the Biodiversity Banking and Offsets Scheme | NSW Environment, Energy and Science.
<https://www.environment.nsw.gov.au/biobanking/biobankingqa.htm>

United Nations Environment Programme. (2023). State of Finance for Nature: The Big Nature Turnaround – Repurposing \$7 trillion to combat nature loss. Nairobi.
<https://doi.org/10.59117/20.500.11822/44278>



TERRASOS ●

Tebu[™]
TERRASOS
BIODIVERSITY
UNIT[™]



**REGEN
NETWORK**