



Universidad de Valladolid

Gobernanza Descentralizada para Organizaciones No
Gubernamentales
Implementación en Besu

Martin Villafruela, Jorge
Rocha Gallo, Nataly
Ureña, Loly

18 de enero de 2026

Índice

1. Descripción general del sistema	5
1.1. Objetivo	5
1.2. Actores principales	5
1.3. Flujo operativo	5
2. Simplificación en base al diseño inicial	6
2.1. Elementos eliminados del diseño original	6
2.2. Sistema implementado	6
2.3. Justificación de las simplificaciones	7
3. Implementación en Besu	7
3.1. Arquitectura del contrato	7
3.1.1. Diagrama de estructuras de datos	8
3.2. Funciones principales	9
3.2.1. Funciones de escritura	9
3.2.2. Funciones de lectura	10
3.3. Control de acceso	10
3.4. Token de Gobernanza	10
3.5. Eventos	11
3.6. Proceso de despliegue	11
3.7. Consideraciones técnicas importantes	12
4. Implementación del front end	12
4.1. Tecnologías utilizadas	12
4.2. Arquitectura del frontend	12
4.2.1. Hooks personalizados	13
4.2.2. Capa de datos	13
4.2.3. Configuración del contrato	13
4.3. Funcionalidades implementadas	13
4.4. Integración con MetaMask	14
4.4.1. Consideraciones importantes	14
4.5. Manejo de transacciones	14
4.6. Diseño de interfaz	14
4.7. Despliegue	15
4.8. Lecciones aprendidas	15
5. Conclusiones	15
5.1. Logros alcanzados	15
5.1.1. Transparencia financiera	15
5.1.2. Gobernanza democrática	16
5.1.3. Aprendizajes técnicos	16
5.2. Desafíos identificados	16
5.2.1. Inmutabilidad como obstáculo y virtud	16
5.2.2. Complejidad de configuración	16
5.2.3. Coordinación frontend-contrato	16
5.3. Simplificaciones y su impacto	16

5.4. Trabajo futuro	17
5.5. Reflexión final	18

1. Descripción general del sistema

Este proyecto implementa un sistema de gobernanza descentralizada para Organizaciones No Gubernamentales (ONG) en el ámbito educativo, utilizando la tecnología blockchain mediante Hyperledger Besu. El sistema aborda dos problemas fundamentales identificados en la fase conceptual: la falta de transparencia financiera y la gobernanza centralizada.

1.1. Objetivo

El sistema busca garantizar la trazabilidad completa de las donaciones y democratizar las decisiones sobre el uso de fondos mediante un mecanismo de votación basado en tokens de gobernanza. Cada donante recibe tokens proporcionales a su aportación, permitiéndoles votar por los proyectos que consideran prioritarios.

1.2. Actores principales

El sistema implementado contempla tres actores principales:

- **Donantes:** Personas físicas o jurídicas que realizan contribuciones a la ONG y participan en la votación de proyectos mediante tokens de gobernanza.
- **Responsables de proyectos:** Miembros de la ONG encargados de la gestión de proyectos específicos.
- **Administrador (Owner):** Cuenta que despliega el contrato y tiene permisos para crear proyectos y validar fondos.
- **Proveedores:** Entidades que suministran los materiales necesarios para realizar los proyectos.

1.3. Flujo operativo

El funcionamiento del sistema se estructura en torno a cuatro operaciones principales:

1. **Registro de donantes:** Los usuarios se registran en el sistema especificando su tipo (individual o empresa).
2. **Realización de donaciones:** Los donantes envían fondos en ETH a proyectos específicos, recibiendo automáticamente tokens de gobernanza.
3. **Votación de proyectos:** Los donantes utilizan sus tokens para votar por los proyectos que desean apoyar, o desestimar a los que no considere decentes.
4. **Compra de materiales:** Los responsables de los proyectos adquieren materiales a los proveedores, utilizando los fondos para ello (validando que el dinero de las donaciones se usa de manera legítima).
5. **Validación de fondos:** El administrador valida el uso correcto de los fondos recaudados.

2. Simplificación en base al diseño inicial

Durante la fase conceptual se diseñó un sistema ambicioso que incluía múltiples actores, mecanismos complejos de distribución de fondos, gestión de proveedores y un sistema de votaciones con ciclos anuales. Sin embargo, al enfrentar la implementación práctica se tomaron decisiones de simplificación para garantizar un sistema funcional y comprensible.

2.1. Elementos eliminados del diseño original

El modelo conceptual contemplaba diversos componentes que fueron descartados en la implementación:

- **Gestión de proveedores:** El diseño inicial incluía un registro de proveedores autorizados (constructoras, distribuidores de material educativo, editoriales) con historial de compras. Este mecanismo fue modificado para simplificar el flujo de fondos. En la versión actual, todos los proveedores venden todo tipo de material, y el precio es estático, fijado en el contrato.
- **Administración ONG con billetera separada:** Se planeaba una cuenta administrativa que recibiría automáticamente el 20 % de cada donación para gastos logísticos. Esta funcionalidad no se implementó.
- **Distribución porcentual automática:** El sistema original contemplaba que cada donación se distribuyera según porcentajes predefinidos (20 % a administración, 30 % equitativo entre proyectos sin meta, 50 % según votaciones). Este mecanismo complejo fue descartado.
- **Ciclos de votación y quema de tokens:** Se diseñó un sistema de votaciones anuales donde los tokens no utilizados se quemaban al final del ciclo. La implementación actual permite votaciones continuas sin restricciones temporales.
- **Objetivo de los tokens de votación:** En la misma línea, los tokens de gobernanza distribuidas ahora tienen una utilidad diferente. En vez de utilizarse para asignar los porcentajes de la donación que se lleva cada proyecto, ahora se utilizan para votar a favor/en contra de proyectos, que necesitan tener un balance de votos positivos determinado para estar activos (cuando un proyecto deja de estar activo, la cantidad donada sin validar se devuelve).
- **Metas de donación y redistribución:** El diseño conceptual incluía metas para cada proyecto y redistribución automática de fondos cuando un proyecto era cancelado. Estas reglas no fueron implementadas.
- **Distinción entre tipos de donante para tokens:** Aunque el contrato mantiene el enum `TipoDonante`, no se implementó la regla diferencial de asignación de tokens (raíz cuadrada para empresas vs. proporcional para individuos).

2.2. Sistema implementado

El contrato final `ONGDonaciones.sol` se centra en las funcionalidades esenciales:

- **Estructura de datos simplificada:** Se mantienen tres estructuras principales: `Donante`, `Proyecto` y `Donacion`, eliminando la complejidad de proveedores y administración.
- **Flujo directo de donaciones:** Los fondos van directamente al proyecto especificado sin distribución porcentual automática.

- **Tokens de gobernanza básicos:** Se asigna 1 token por cada ETH donado, sin distinción por tipo de donante.
- **Votación simplificada:** Los donantes pueden votar en cualquier momento, gastando sus tokens para incrementar o disminuir el contador de votos del proyecto.
- **Control de acceso básico:** Solo el owner puede crear proyectos, validar fondos y cambiar estados, implementado mediante el modificador `soloOwner`.

3. Implementación en Besu

El contrato inteligente fue desarrollado en Solidity[?] y desplegado en una red Hyperledger Besu[?] utilizando Remix IDE[?]. Esta sección describe la arquitectura del contrato, sus funciones principales y las consideraciones técnicas encontradas durante el despliegue.

3.1. Arquitectura del contrato

El contrato `ContratoONG.sol` implementa un diseño modular, donde cada parte del contrato (donación, compra del material, votaciones, ...) viene definida en un "subcontrato" diferente para una mejor organización. De esta manera, en el contrato `ContratoONG.sol` únicamente se compila el resto de contratos, vinculados a éste por herencias con el siguiente orden:

OngBase → OngDonantes → OngProyectos → OngDonaciones → OngCompras → ContratoONG

OngBase: Define las estructuras de datos y mapeos básicos para donantes, proyectos, donaciones, compras y proveedores:

- **Estructuras (Structs):**

- **Material:** almacena nombre y valor del material.
- **Donante:** almacena dirección, nombre, tipo de donante y total donado.
- **Proyecto:** contiene ID, descripción, responsable, cantidades recaudada y validada, estado, votos de aprobación y votos de cancelación.
- **Donacion:** registra ID, donante, proyecto, cantidad y timestamp.
- **Compra:** registra ID, comprador, proveedor, proyecto, cantidad, valor, tipo de material, fecha y estado de validación.
- **Proveedor:** almacena ID, descripción, dirección del proveedor y ganancias acumuladas.
- **TrazabilidadDonacion:** estructura auxiliar que agrupa una donación con su proyecto y compras asociadas.

- **Enums:**

- **TipoDonante:** Individual, Empresa.
- **EstadoProyecto:** Propuesto, Activo, Cancelado.

- **Mapeos (Mappings):**

- mapping(address =>Donante) donantes
- mapping(string =>Proyecto) proyectos
- mapping(string =>Donacion) donaciones
- mapping(string =>Compra) compras
- mapping(address =>Proveedor) proveedores
- mapping(string =>mapping(address =>bool)) donantesDeProyecto

- **Arrays para iteración:**

- address[] listaDonantes
- string[] listaProyectos
- string[] listaDonaciones
- string[] listaCompras

Esta combinación de mappings para acceso directo y arrays para iteración permite tanto búsquedas eficientes como la capacidad de listar todos los registros desde el frontend.

3.1.1. Diagrama de estructuras de datos

La Figura 1 muestra las relaciones entre las principales entidades del sistema.

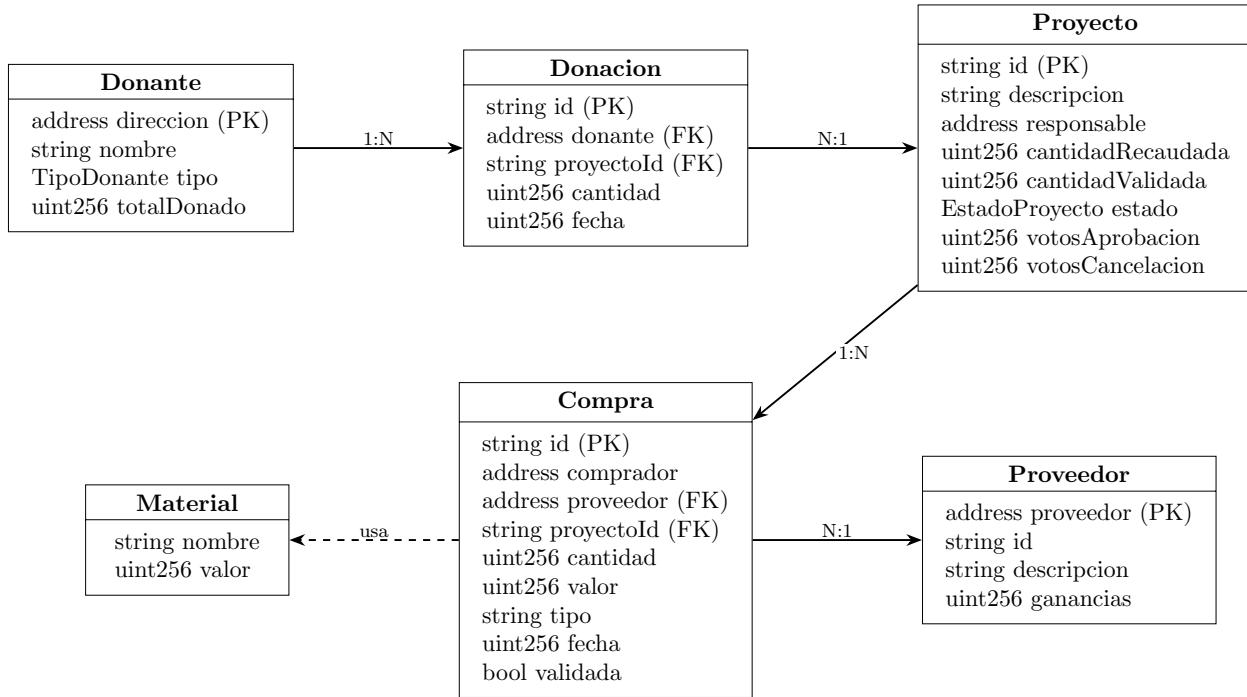


Figura 1: Diagrama entidad-relación de las estructuras de datos del contrato

3.2. Funciones principales

El contrato implementa las siguientes operaciones:

3.2.1. Funciones de escritura

- `registrarDonante(string nombre, TipoDonante tipo)`: Permite a un usuario registrarse como donante. Verifica que no esté previamente registrado.
- `crearProyecto(string id, string descripcion, address responsable, EstadoProyecto estado)`: Función restringida al owner para crear nuevos proyectos. Valida que el ID no exista previamente y que el estado inicial no sea Cancelado.
- `donar(string proyectoId) payable`: Función principal que procesa donaciones. Recibe ETH, registra la donación, actualiza totales y asigna tokens de gobernanza (1 token por cada 0.001 ETH). Si el donante no está registrado, lo crea automáticamente como individuo. Solo permite donar a proyectos en estado Activo.
- `votarAprobacion(string proyectoId, uint256 cantidadVotos)`: Permite a los donantes registrados votar para aprobar un proyecto en estado Propuesto. Los tokens de gobernanza se queman al votar. Si se alcanza el umbral de votos mínimos (`VOTOS_MINIMOS = 2`), el proyecto pasa a estado Activo.
- `votarCancelacion(string proyectoId, uint256 cantidadVotos)`: Permite votar para cancelar un proyecto. Para proyectos Activos, solo pueden votar quienes hayan donado a ese proyecto. Los tokens se queman al votar. Si se alcanza el umbral, el proyecto se cancela.
- `validarFondosProyecto(string proyectoId, uint256 cantidad)`: Función administrativa (solo owner) para marcar fondos como validados.
- `registrarProveedor(address proveedor, string nombre, string descripcion)`: Función restringida al owner para registrar proveedores autorizados.
- `realizarCompra(string compraId, string proyectoId, address proveedor, string tipoMaterial, uint128 cantidad)`: Permite al responsable del proyecto realizar compras. Verifica fondos suficientes y reserva el monto del balance del proyecto.
- `validarCompra(string compraId)`: El responsable del proyecto valida una compra después de verificar la recepción física del material. Al validar, se transfiere el ETH al proveedor (actúa como “oráculo humano”).

3.2.2. Funciones de lectura

El contrato incluye funciones de consulta que no modifican el estado:

- `obtenerDonante(address)`, `obtenerProyecto(string)`, `obtenerDonacion(string)`, `obtenerCompra(string)`
- `obtenerTotalDonantes()`, `obtenerTotalProyectos()`, `obtenerTotalDonaciones()`
- `obtenerTokensGobernanza(address)`: retorna el balance de tokens de gobernanza de un donante
- `obtenerComprasPorProyecto(string proyectoId)`: retorna todas las compras asociadas a un proyecto
- `obtenerTrazabilidadDonante(address donante)`: retorna la trazabilidad completa de un donante, incluyendo sus donaciones, proyectos asociados y compras realizadas

- `getMaterialByName(string nombre)`: obtiene la información de un material por su nombre
- `obtenerBalance()`: retorna el balance de ETH del contrato

3.3. Control de acceso

Se implementa un sistema de permisos básico mediante el modificador `soloOwner`, que restringe funciones críticas al propietario del contrato:

```

1  modifier soloOwner() {
2      require(msg.sender == owner,
3          "Solo el owner puede ejecutar esto");
4      -
5 }
```

El owner se establece en el constructor como la dirección que despliega el contrato.

3.4. Token de Gobernanza

El sistema incluye un contrato separado `TokenGobernanza.sol` que implementa un token ERC20 para la gobernanza de la ONG. Este token permite a los donantes participar en las votaciones de proyectos.

- **Estándar:** ERC20 con nombre “Token Gobernanza ONG” y símbolo “TKN4GOOD”
- **Emisión:** Los tokens se mintean automáticamente al realizar donaciones (1 token por cada 0.001 ETH)
- **Consumo:** Los tokens se queman al votar, implementando un sistema de votación con peso económico
- **Control de acceso:** Solo el contrato de donaciones (ContratoONG) o el owner pueden mintear y quemar tokens

El token utiliza las librerías de OpenZeppelin para garantizar la seguridad y el cumplimiento del estándar ERC20.

3.5. Eventos

Para facilitar la integración con el frontend y permitir el seguimiento de operaciones, se definieron los siguientes eventos:

- `DonacionRealizada(address indexed donante, string proyectoId, uint256 cantidad)`
- `ProyectoCreado(string id, string descripcion)`
- `DonanteRegistrado(address indexed direccion, string nombre)`
- `ProyectoAprobado(string id, uint256 votosTotal)`
- `ProyectoCancelado(string id, uint256 votosTotal, uint256 fondosAlFondoComun)`
- `VotoAprobacion(address indexed votante, string proyectoId, uint256 cantidadVotos)`

- VotoCancelacion(address indexed votante, string projectId, uint256 cantidadVotos)
- CompraRealizada(address indexed comprador, string compraId, uint256 valor)
- CompraValidada(string compraId, address indexed validador, address indexed proveedor, uint256 valor)
- TokenGobernanzaActualizado(address indexed tokenAnterior, address indexed tokenNuevo)

3.6. Proceso de despliegue

El contrato fue desplegado utilizando Remix IDE conectado a la red BLOCK LAB de Besu. El proceso incluyó:

1. Compilación del contrato con Solidity 0.8.0.
2. Conexión de MetaMask[?] a la red BLOCK LAB.
3. Configuración de permisos de dominio en MetaMask.
4. Despliegue mediante Remix utilizando el injected provider.
5. Obtención de la dirección del contrato desplegado.

3.7. Consideraciones técnicas importantes

Durante la implementación y despliegue se identificaron varios aspectos críticos:

- **Permisos de red en MetaMask:** Es fundamental configurar correctamente los permisos para el dominio específico en MetaMask, asegurando que la extensión utilice la red BLOCK LAB. Sin esta configuración, suelen aparecer problemas de conexión.
- **Inmutabilidad de contratos:** Los contratos en blockchain no son editables una vez desplegados. Cualquier modificación requiere desplegar un nuevo contrato con una nueva dirección, lo que implica actualizar la configuración en el frontend.
- **Coordinación frontend-contrato:** La dirección del contrato debe actualizarse manualmente en el archivo de configuración del frontend cada vez que se despliega una nueva versión, usando para ello el archivo ABI generado al desplegar el contrato.
- **Gas y costos:** Aunque Besu no requiere ETH real, se debe tener en cuenta el concepto de gas para futuras implementaciones en redes públicas.

4. Implementación del front end

Se desarrolló una aplicación web utilizando React con TypeScript y Vite como herramienta de construcción. El frontend se conecta al contrato inteligente mediante la biblioteca ethers.js y MetaMask, permitiendo a los usuarios interactuar con la blockchain de forma intuitiva.

4.1. Tecnologías utilizadas

- **React 19[?]:** Framework principal para la interfaz de usuario
- **TypeScript:** Para tipado estático y mayor seguridad en el desarrollo
- **Vite:** Herramienta de construcción moderna y rápida
- **Material-UI (MUI):** Biblioteca de componentes para una interfaz profesional
- **TanStack Router:** Gestión de rutas y navegación
- **TanStack Query:** Manejo de estado y cache de datos blockchain
- **ethers.js[?]:** Librería para interactuar con Ethereum/Besu
- **MetaMask:** Extensión de navegador para gestión de billeteras

4.2. Arquitectura del frontend

La aplicación se estructura en capas separando responsabilidades:

4.2.1. Hooks personalizados

Se crearon hooks de React para encapsular la lógica de interacción con el contrato:

- **useContract:** Hook base que inicializa la conexión con el contrato utilizando el ABI y la dirección configurada.
- **useProyectos:** Obtiene la lista de proyectos activos.
- **useDonaciones:** Consulta el historial de donaciones.
- **useDonante:** Recupera información del donante conectado.
- **useRealizarDonacion:** Gestiona el proceso de realizar una donación.
- **useRegistrarDonante:** Maneja el registro de nuevos donantes.
- **useVotarProyecto:** Permite votar por un proyecto específico.
- **useProveedores**
- **useRegistrarProveedor**
- **useCompras**

4.2.2. Capa de datos

Se implementó una arquitectura basada en queries y mutations siguiendo el patrón de TanStack Query:

- **Queries (data/query):** Funciones de solo lectura que consultan el estado del contrato
- **Mutations (data/mutations):** Operaciones que modifican el estado (donaciones, registros, votaciones)

4.2.3. Configuración del contrato

El archivo `contractConfig.ts` centraliza la configuración:

- Dirección del contrato desplegado.
- ABI del contrato (importado desde el JSON generado por Remix).
- Parámetros de conexión a la red.

4.3. Funcionalidades implementadas

La aplicación permite a los usuarios:

1. **Conectar billetera:** Mediante MetaMask, conectándose automáticamente a la red BLOCK LAB.
2. **Visualizar proyectos:** Lista de proyectos activos con su información detallada.
3. **Consultar historial:** Ver todas las donaciones realizadas.
4. **Votar proyectos:** Utilizar tokens de gobernanza para votar.
5. **Registrarse como donante:** Crear un perfil en el sistema.

4.4. Integración con MetaMask

La conexión con MetaMask fue un aspecto crítico de la implementación. Se identificaron y resolvieron varios desafíos:

4.4.1. Consideraciones importantes

- **Permisos de dominio:** MetaMask debe tener permisos correctamente configurados para el dominio (tanto en desarrollo local como en producción). Sin los permisos adecuados para usar la red BLOCK LAB, aparecen errores de conexión.
- **Conexión automática:** MetaMask se conecta automáticamente tanto en desarrollo local (localhost) como en el servidor desplegado en Vercel. Lo esencial es configurar los permisos de red correctamente.
- **Verificación de red:** El frontend verifica que el usuario esté conectado a la red BLOCK LAB antes de permitir transacciones.
- **Reconocimiento de billetera:** Una vez configurados los permisos, MetaMask reconoce inmediatamente la billetera conectada.

4.5. Manejo de transacciones

Un aspecto fundamental del diseño es el manejo correcto de las interacciones con la blockchain:

- **Transacciones de solo lectura:** Las consultas (queries) se ejecutan sin necesidad de conexión de billetera, permitiendo ver información pública antes de conectarse.

- **Transacciones de escritura:** Operaciones como donaciones y votaciones requieren que el usuario conecte su billetera y firme la transacción.
- **Feedback al usuario:** Se implementaron estados de carga y mensajes de error para informar sobre el progreso de las transacciones.
- **Actualización de estado:** Tras completar una transacción, se invalidan y refrescan automáticamente las queries afectadas.

4.6. Diseño de interfaz

La aplicación utiliza Material-UI para proporcionar una experiencia de usuario moderna:

- Dashboard con estadísticas de donaciones.
- Cards visuales para cada proyecto con imágenes.
- Formularios intuitivos para donaciones y registro.
- Tablas con el historial completo de transacciones.
- Uso de modales (pop-ups) para detalles y confirmaciones.
- Modo claro/oscuro adaptativo.

4.7. Despliegue

El frontend fue desplegado en Vercel [?][?], lo que permite:

- Acceso público a la aplicación.
- Despliegue continuo desde el repositorio.
- HTTPS automático.
- Integración con MetaMask en entorno de producción.

4.8. Lecciones aprendidas

Durante el desarrollo del frontend se identificaron varios aspectos críticos:

1. **Blockchain como backend:** Al utilizar blockchain como capa de persistencia, todas las operaciones de lectura deben ejecutarse antes de requerir la conexión de billetera. Esto permite mostrar información al usuario y verificar que está en la red correcta antes de solicitar permisos.
2. **Actualización de direcciones:** Cada vez que se despliega un nuevo contrato, es necesario actualizar manualmente la dirección en `contractConfig.ts`. Este proceso es inevitable debido a la inmutabilidad de los contratos.
3. **Gestión de estado asíncrono:** Las interacciones con blockchain son inherentemente asíncronas y pueden fallar. TanStack Query facilita el manejo de estos estados (`loading`, `error`, `success`).
4. **Testing con cuentas de desarrollo:** Es fundamental tener múltiples cuentas de MetaMask configuradas para probar diferentes roles (owner, donantes, etc.).

5. Conclusiones

Este proyecto demuestra la viabilidad de implementar un sistema de gobernanza descentralizada para ONGs utilizando tecnología blockchain. A través del desarrollo del contrato `ONGDonaciones` y su integración con un frontend moderno, se han alcanzado los objetivos principales de transparencia y participación democrática.

5.1. Logros alcanzados

5.1.1. Transparencia financiera

El sistema implementado proporciona trazabilidad completa de las donaciones. Cada transacción queda registrada de forma inmutable en la blockchain, permitiendo a cualquier persona verificar:

- El origen de cada donación (dirección del donante).
- El destino específico de los fondos (proyecto beneficiado).
- El momento exacto de la transacción (timestamp).
- El total recaudado y validado para cada proyecto.

Esta transparencia elimina la dependencia de auditorías periódicas tradicionales, proporcionando verificación continua y en tiempo real.

5.1.2. Gobernanza democrática

El mecanismo de tokens de gobernanza permite la participación directa de los donantes en las decisiones sobre priorización de proyectos. Aunque simplificado respecto al diseño original, el sistema implementado cumple con el objetivo de democratizar la toma de decisiones, otorgando poder de voto proporcional a las contribuciones realizadas.

5.1.3. Aprendizajes técnicos

La implementación proporcionó experiencia práctica en:

- Desarrollo de contratos inteligentes en Solidity.
- Despliegue en Hyperledger Besu utilizando Remix.
- Integración frontend-blockchain mediante ethers.js.
- Gestión de billeteras con MetaMask.
- Configuración de permisos y redes personalizadas.
- Manejo de transacciones síncronas y asíncronas.
- Utilización de los tokens ERC20 para implementar un sistema de decisión basado en tokens de gobernanza.

5.2. Desafíos identificados

5.2.1. Inmutabilidad como obstáculo y virtud

La característica inmutable de los contratos blockchain presenta un dilema: garantiza que las reglas no pueden modificarse arbitrariamente (virtud para la transparencia), pero dificulta corregir errores o implementar mejoras (obstáculo para el desarrollo iterativo). Cada modificación requiere desplegar un nuevo contrato, migrar datos si es necesario y actualizar todas las integraciones.

5.2.2. Complejidad de configuración

La configuración correcta de MetaMask, especialmente los permisos de red por dominio, resultó ser un punto crítico. Esta barrera técnica podría dificultar la adopción por usuarios no técnicos, requiriendo interfaces más amigables o documentación exhaustiva.

5.2.3. Coordinación frontend-contrato

La necesidad de actualizar manualmente la dirección del contrato en el frontend tras cada despliegue introduce un punto de fricción en el flujo de desarrollo. Aunque existen soluciones como sistemas de nombres (ENS) o proxies actualizables, estas añaden complejidad adicional.

5.3. Simplificaciones y su impacto

Las decisiones de simplificación tomadas durante la implementación tuvieron efectos mixtos:

Aspectos positivos:

- Mayor facilidad de comprensión del código.
- Menos superficie de ataque para vulnerabilidades.
- Desarrollo más rápido y debugging simplificado.
- Menor costo de gas en cada operación.

Funcionalidades perdidas:

- No hay control automático de distribución de fondos.
- Falta el mecanismo de proveedores verificados.
- No se implementó la cuenta administrativa separada.
- Sin ciclos de votación con renovación de tokens.

5.4. Trabajo futuro

Para evolucionar este proyecto hacia un sistema de producción, se identifican las siguientes áreas de mejora:

1. **Implementar distribución automática:** Recuperar la lógica de porcentajes del diseño original para automatizar la asignación de fondos según votaciones.
2. **Sistema de proveedores:** Añadir registro y validación de proveedores autorizados para completar el ciclo de trazabilidad hasta el gasto final.

3. Mejoras de seguridad:

- Implementar pausado de emergencia (circuit breaker).
- Añadir límites máximos por transacción.
- Incluir mecanismos de recuperación ante errores.

4. Optimización de gas:

Revisar estructuras de datos y lógica para reducir costos de transacción, especialmente importante si se migra a redes públicas.

5. Interfaz mejorada:

- Simplificar el proceso de configuración de MetaMask
- Añadir visualizaciones gráficas de distribución de fondos
- Implementar notificaciones en tiempo real de eventos blockchain

6. Mejorar la lógica de uso de los tokens de gobernanza:

Implementar una lógica más compleja y segura para el uso de los tokens. El sistema actual tiene varios puntos débiles que confían en que los usuarios "sean buenos".

Por ejemplo, un donante puede comprar tokens de gobernanza al resto de donantes, votando en contra de un proyecto al que ha donado, haciendo que se le devuelva su dinero, incluso puede que más del otorgado inicialmente, o simplemente tener plena postidad para decidir que un proyecto se reanude, o se cancele.

7. Testing exhaustivo:

Desarrollar suite completa de tests unitarios y de integración utilizando Hardhat o Foundry.

8. Auditoría de seguridad:

Antes de manejar fondos reales, realizar auditoría profesional del contrato.

5.5. Reflexión final

Este proyecto ilustra tanto el potencial como los desafíos de aplicar blockchain a problemas del mundo real. La tecnología proporciona garantías únicas de transparencia e inmutabilidad que son valiosas para organizaciones que manejan fondos públicos. Sin embargo, la complejidad técnica y las limitaciones de la inmutabilidad requieren un balance cuidadoso entre ambición y practicidad.

El sistema implementado, aunque simplificado, demuestra que es posible construir aplicaciones blockchain funcionales que aporten valor real. La experiencia adquirida en este proyecto proporciona una base sólida para comprender los trade-offs inherentes a esta tecnología y tomar decisiones de diseño informadas en futuros desarrollos.