



Informe Técnico: Estructura Modular y Arquitectura de la Plataforma SICREP

Objetivo: Presentar la arquitectura técnica y la estructura modular de la plataforma **SICREP** (Sistema Integral de Certificación REP), describiendo cada módulo principal, sus interacciones y componentes. Se incluyen diagramas de microservicios, flujos funcionales, wireframes de interfaces críticas (evaluación, certificación de embalajes, trazabilidad NFC, panel ESG) y ejemplos de código/pseudocódigo clave (cálculo de peso REP, generación de código CPS, lectura NFC). Asimismo, se incorporan consideraciones de la **Ley 20.920** (Ley REP) y normativas vigentes, junto con recomendaciones para mejorar trazabilidad, gobernanza de datos ESG, interoperabilidad y experiencia de usuario.

1. Estructura de la Plataforma y Módulos Principales

La plataforma SICREP sigue una arquitectura **microservicios cloud-native** de alta disponibilidad, con un frontend en **Next.js 14** y múltiples servicios backend en **Java Spring Boot** ¹. Cada microservicio expone APIs REST (documentadas con OpenAPI 3.0) y maneja su propia base de datos (MySQL 8.0), con **Redis** como caché y **S3** para archivos ². La seguridad se implementa con JWT/OAuth 2.0 y control de acceso por roles (RBAC) ³. A continuación se describen los módulos funcionales principales de SICREP:

Módulo de Evaluación y Certificación Sello SICREP

Este módulo gestiona el **proceso de certificación inicial** de proveedores mediante el *Sello SICREP*. Consta de cuatro fases digitales ⁴ basadas en criterios estandarizados:

- **Fase 1 – Solicitud y carga documental:** El proveedor completa un formulario con datos de la empresa y sube documentos legales (e.g. e-RUT, vigencia sociedad) y operativos (p.ej. POE – Procedimiento Operativo Estándar de información a clientes, plan de manejo de residuos, capacitación, política de sostenibilidad) ⁵. La plataforma valida automáticamente formatos y fechas de estos documentos.
- **Fase 2 – Evaluación documental remota:** Un técnico auditor (ECA) revisa los documentos y asigna puntajes según una **matriz de calificación**. Se verifica el cumplimiento legal (existencia legal, inscripción en RETC, historial sin sanciones SMA) y operativo (implementación de POE, plan de manejo, capacitación), así como compromisos de sostenibilidad (trazabilidad de datos REP, política ambiental) ⁶ ⁷. Las ponderaciones son: Legal/Administrativo 20 %, Prácticas Operativas 50 %, Trazabilidad y Sostenibilidad 20 % y Valor Agregado 10 % ⁸ ⁷.
- **Fase 3 – Auditoría en terreno/remota:** El equipo ECA realiza una auditoría on-site o virtual para entrevistar al personal, verificar instalaciones y validar la trazabilidad de datos en terreno ⁹. Se pueden asignar puntos adicionales o levantar no-conformidades según hallazgos.
- **Fase 4 – Dictamen y emisión del sello:** Un Comité de Certificación evalúa el puntaje global. Si el proveedor alcanza $\geq 85\%$ de cumplimiento, se le otorga el **Sello SICREP – Proveedor Comprometido**; con 60-84.9 % recibe un certificado "En Proceso" con observaciones, y por debajo de 60 % se declara *No Apto* ¹⁰ ¹¹. Los proveedores que obtienen el Sello quedan habilitados para acceder al panel de proveedores y utilizar módulos avanzados (CPS, trazabilidad) ¹².

Matriz de Calificación: La siguiente tabla resume las categorías y pesos de evaluación del Sello SICREP ⁷:

Categoría	Ponderación	Aspectos evaluados
Legal y Administrativo	20 %	Existencia legal (e-RUT), vigencia, inscripción RETC, sin sanciones SMA ⁷ .
Prácticas Operativas (POE)	50 %	Procedimiento de información a clientes, plan de manejo de residuos, capacitación del personal ¹³ . (<i>Categoría crítica</i>)
Trazabilidad y Sostenibilidad	20 %	Registro de datos de embalajes (extractos ERP/REP), política de sostenibilidad firmada por gerencia ¹⁴ .
Valor Agregado (Opcional)	10 %	Certificaciones adicionales (ISO 14001, etc.), ecodiseño de embalajes ¹⁴ .

Flujo de evaluación: De forma simplificada, el flujo involucra al proveedor, los técnicos ECA y el comité, con etapas secuenciales y verificación de resultados:

- Proveedor → **Fase 1: Carga Documental** → ECA
- ECA → **Fase 2: Evaluación Documental** → ECA
- ECA → **Fase 3: Auditoría Terreno/Remota** → Comité
- Comité → **Fase 4: Dictamen** → Resultado Final (Sello, Certificado en Proceso, o Rechazo)

(Al obtener el Sello, el proveedor accede al panel SICREP y funcionalidades de trazabilidad) ¹².

Módulo de Certificación de Embalajes (Ley REP < 300 kg)

Este módulo permite a los proveedores **certificar sus embalajes por despacho** para dar cumplimiento a la Ley REP, especialmente enfocado en micro-empresas que ponen < 300 kg anuales de envases en el mercado (exentas de metas de valorización pero obligadas a informar al RETC) ¹⁵ ¹⁶. Consta de tres sub-funciones: **Setup inicial**, **Flujo mensual de certificación** y **Consolidación anual**:

- **Setup Inicial (CPS):** En la etapa inicial, un técnico SICREP pesa y mide cada componente del embalaje terciario (caja, film plástico, zuncho, pallet, etc.) usando básculas digitales certificadas ¹⁷. Cada tipo de embalaje se registra en la plataforma como un **CPS** (Código de Producto SICREP) único, almacenando su peso unitario y materialidad ¹⁷. Si el proveedor contrata soporte remoto, puede realizar esta carga de datos guiado a distancia. **Entregables:** fichas técnicas de cada embalaje con su peso unitario (e.g., caja 450 g, film 85 g, zuncho 25 g, pallet 18 kg) y la generación de un código **CPS** único por tipo ¹⁸ ¹⁹. El CPS actúa como identificador estándar del embalaje certificado en la plataforma.
- **Flujo Mensual (Certificación por despacho):** Cada vez que el proveedor realiza un despacho de productos al cliente industrial (ej. una minera), debe certificar el embalaje de ese lote:
- **Selección del CPS:** En el Dashboard, el proveedor selecciona el CPS correspondiente al producto/embalaje que va a despachar ²⁰.
- **Cálculo automático de Peso REP:** El sistema calcula el peso total de embalaje en ese despacho multiplicando las cantidades por los pesos unitarios de cada componente. Además, determina

cuánto de ese peso es reciclabl e según la materialidad (por ejemplo, excluyendo materiales no valorizables) ²¹. A continuación se muestra un pseudocódigo simplificado del cálculo:

```
``typescript pesoTotalGr = Σ(pesoUnitario × cantidad) pesoReciclableGr = Σ(reciclable ?  
pesoUnitario × cantidad : 0) reciclabilidadPct = (pesoReciclableGr / pesoTotalGr) * 100
```

```
// Clasificación de nivel de reciclabilidad let nivel: string; if (reciclabilidadPct >= 70) nivel = "Alto";  
else if (reciclabilidadPct >= 50) nivel = "Medio"; else nivel = "Bajo"; `` 21
```

Algoritmo: suma los pesos por componente y calcula el porcentaje de peso reciclabl e. Segú n el % de reciclabilidad, clasifica el embalaje del despacho en nivel **Alto**, **Medio** o **Bajo** en términos de reciclabilidad.

- **Generación de etiqueta de trazabilidad:** La plataforma genera automáticamente una **etiqueta PDF** de tamaño estándar (ej. 100×60 mm) con título “SELLO REP – Trazabilidad de Envases”, que incluye el logo de la empresa proveedora, su RUT y número RETC, una tabla con el desglose de componentes (material y peso) y un código **QR/NFC** para validación ²². El proveedor imprime esta etiqueta (usando impresora térmica) y la adhiere físicamente a cada bulto o pallet del despacho.
- **Despacho y Escaneo:** El producto es enviado a la minera cliente acompañado de la etiqueta. En el momento de la recepción, cualquier actor autorizado (ej. personal de bodega de la minera, auditores o incluso consumidores finales) puede **escanear el QR o leer el tag NFC** de la etiqueta. Al hacerlo, accede a un endpoint público (`/validar/[hash]`) donde se visualiza el **certificado digital del despacho** con todos los datos de trazabilidad del lote ²³ ²⁴. Este certificado incluye detalles del embalaje, peso total y reciclabl e, porcentaje de reciclabilidad y la confirmación de que el proveedor está certificado por un ECA. (*No requiere login para su consulta, garantizando transparencia.*)
- **Flujo Anual (Reporte consolidado):** La plataforma consolida automáticamente todos los despachos certificados del año en un **Reporte “SISREP-ready”** ²⁵. El proveedor, desde su dashboard anual, puede revisar estadísticas de sus embalajes y descargar este reporte consolidado, el cual está formateado según las exigencias oficiales para la **Declaración Jurada Anual** en el sistema RETC/SISREP del Ministerio del Medio Ambiente ²⁵. El reporte incluye sumas de peso por tipo de material (conforme a categorías del DS 12/2020) ²⁶, gráficos de evolución mensual, y es firmado digitalmente por SICREP (ECA) para servir como respaldo en fiscalizaciones. Con este informe, el productor cumple la obligación anual de informar la puesta en el mercado de envases y residuos, según lo exige la Ley 20.920 ¹⁵. Finalmente, la plataforma emite un **Certificado Anual SICREP** que el proveedor puede presentar a sus clientes (ej. mineras) como comprobante de cumplimiento y desempeño ambiental del año ^{【5†】}.

Nota normativa: La **Ley 20.920 (2016)** y su reglamentación (p. ej. DS N°12/2020 para envases y embalajes) establecen la responsabilidad del productor de reportar y valorizar los residuos de envases. Microempresas bajo 300 kg/año están exentas de metas de recolección, pero deben **informar sus envases declarados** al RETC ¹⁵. SICREP implementa estos requisitos facilitando la trazabilidad completa en la cadena de manejo de residuos (**principio de trazabilidad** de la Ley REP ²⁷) y generando documentación técnica auditabla para demostrar el cumplimiento regulatorio.

Módulo de Creación de Usuarios y Gestión de Roles

La plataforma cuenta con funcionalidades de administración de usuarios y control de accesos. A través de un panel de **Configuración** se gestionan **cuentas de usuario, roles y permisos** ²⁸. Los roles están predefinidos según la matriz organizacional de SICREP y el tipo de actor en el ecosistema:

- **Administradores (Super Admin / Gerentes):** Tienen control completo de la plataforma, creación de organizaciones (clientes) y asignación de roles. Pueden configurar parámetros globales, ver métricas globales y gestionar contenidos públicos.
- **Técnicos ECA / Auditores:** Usuarios internos encargados de ejecutar evaluaciones y auditorías. Acceden al dashboard operativo para revisar solicitudes, evaluar documentación y registrar auditorías. Tienen permisos para actualizar el estado de proyectos de certificación y emitir dictámenes.
- **Proveedor (Empresa) Certificado:** Usuarios de empresas proveedoras que han sido aprobadas con el Sello SICREP. Este rol (normalmente *admin* de la empresa proveedora) puede acceder al **Portal de Clientes** para manejar sus proyectos, cargar documentos, consultar sus certificados, y usar el módulo de embalajes (CPS y trazabilidad) ²⁹ ³⁰. *Nota:* Solo proveedores con Sello vigente pueden generar CPS y etiquetas de trazabilidad, garantizando que solo actores calificados usen estas herramientas.
- **Cliente Industrial (Minera u otra empresa compradora):** Usuarios pertenecientes a empresas mineras u otras industrias que requieren verificar la certificación de sus proveedores. Pueden acceder a un **Panel de Control** dedicado (ver siguiente módulo) para visualizar métricas agregadas de los proveedores que les suministran, descargar reportes ESG y validar certificados de despacho (vía QR/NFC). Pueden tener permisos de solo lectura y análisis.
- **Otros Roles Especializados:** Por ejemplo, *Coordinador de Procesos (CPS)*, *Gerente Comercial*, etc., según la estructura interna, con vistas personalizadas en el dashboard operativo ³¹ ³². La plataforma está diseñada con vistas adaptadas por rol para mostrar solo las funcionalidades y KPIs relevantes a cada perfil (principio de *dashboard personalizado por rol*) ³³.

El sistema usa **OAuth2.0/JWT** para autenticación centralizada y emite tokens con los roles/permisos del usuario. Cada petición a microservicios pasa por un API Gateway que valida el token y aplica **RBAC** según el rol (implementado via Spring Security) ³⁴. Existe integración con servicios de directorio/SSO para empresas que lo requieran. Esta modularidad permite escalar la plataforma de manera segura manteniendo segregación de privilegios.

Módulo de Directorio de Proveedores Certificados

SICREP ofrece en su portal público un **Directorio en Línea de proveedores certificados** (Sello SICREP), aportando transparencia y facilitando conexiones comerciales sostenibles. Este módulo presenta una lista consultable de todas las empresas que han obtenido el Sello, con información relevante de cada una:

- **Perfil Público de Proveedor:** incluye nombre de la empresa, RUT, rubro (materiales que provee: cartón, plástico, etc.), región/ubicación, nivel de certificación (Proveedor Comprometido o En Proceso), vigencia de la certificación y puntaje obtenido (opcional).
- **Ficha de Sostenibilidad:** en cada perfil se puede mostrar indicadores resumidos como % promedio de reciclabilidad de sus embalajes, toneladas certificadas, huella de carbono aproximada asociada a sus embalajes (si la calculan), y cualquier otra certificación ambiental que posean (ej. ISO 14001, Certificado Copper Mark si corresponde).

- **Búsqueda y Filtro:** el directorio permite filtrar proveedores por categoría de material, por región, o buscar por nombre. Esto ayuda a mineras u otras empresas a identificar proveedores locales certificados que cumplan la Ley REP y estándares ESG.
- **Verificación de Certificados:** desde el perfil del proveedor, se puede acceder a sus certificados o un enlace de verificación. Por ejemplo, un link para verificar en tiempo real el estado del Sello SICREP (vía código QR) o descargar su certificado digital firmado por el ECA.

Este directorio funciona alimentado por el **Certificate Service** en backend, que almacena todos los certificados emitidos ³⁴ ³⁵. Cada vez que un proveedor obtiene o renueva su Sello, se actualiza el listado público. La información presentada respeta la confidencialidad acordada (no se exponen datos sensibles, solo atributos públicos de la certificación). Este módulo promueve la **transparencia** y la **colaboración en la cadena de suministro**, permitiendo que las empresas mineras verifiquen rápidamente si un proveedor está certificado y vigente.

Módulo de Trazabilidad y Escaneo NFC (SICREP-TRACE)

Este módulo corresponde a la capa de **IoT & trazabilidad física** de SICREP, centrada en el uso de etiquetas **NFC y códigos QR** para seguimiento de cada embalaje certificado. Está estrechamente integrado con el módulo de Certificación de Embalajes, pero merece mención especial por sus componentes tecnológicos:

- **Etiquetas Inteligentes (NFC/QR):** Cada **CPS** generado puede asociarse a una etiqueta física. La plataforma SICREP-TRACE permite grabar en un **tag NFC** un identificador único (UID) vinculado al CPS y al lote de despacho ³⁶. El tag almacena un registro NDEF con la URL de verificación (por ejemplo, <https://sicrep.cl/trace/{UID}>) y opcionalmente datos comprimidos del despacho ³⁶. Una vez grabada la información, la etiqueta NFC se bloquea (read-only) para evitar manipulaciones. Paralelamente, el **código QR** impreso en la etiqueta contiene la misma URL de verificación ³⁶, asegurando que tanto mediante escáner de cámara como por lectura NFC se accede al mismo recurso de trazabilidad.
- **Aplicación de Escaneo:** La plataforma web (y la PWA móvil offline) exponen una interfaz de escaneo. Cualquier usuario, autenticado o público, al escanear la etiqueta es redirigido a la página de validación/Certificado de Trazabilidad. Allí se genera un **informe PDF** descargable con todos los detalles del lote: pesos por componente, % reciclabilidad, fecha y origen del despacho, datos del proveedor emisor, e indicadores ambientales asociados (por ejemplo, estimación de **huella de carbono** del embalaje o del transporte, si se ha calculado, y referencia a métricas **ESG** del proveedor) ³⁷ ³⁸. De este modo, el receptor (minera) obtiene en segundos un comprobante digital de que el despacho cumple con la Ley REP y puede integrar esos datos en sus propios reportes.
- **Modo Offline y Sincronización:** SICREP-TRACE está diseñado para entornos industriales con conectividad intermitente. La aplicación móvil (PWA) funciona offline-first, utilizando **IndexedDB** en el navegador para guardar eventos de despachos y escaneos locales ³⁹. Cuando la conexión se restablece, los datos se sincronizan con el servidor central. Esto permite que un técnico pueda realizar certificaciones en terreno (por ejemplo, en una faena minera remota) sin internet, y posteriormente subir toda la información registrada.
- **Seguridad y Verificación:** Cada certificado o informe generado lleva la firma digital del ECA y un hash en blockchain para inmutabilidad (integración planificada) ⁴⁰ ⁴¹. La verificación vía QR/NFC además consulta la API pública en tiempo real para chequear revocación o vigencia del certificado. Esto añade confianza al sistema: si un proveedor pierde su certificación, cualquier intento de validar sus QR/NFC informará que el sello está vencido o revocado.

Escenario de uso: Una minera recepciona un embarque, escanea la etiqueta NFC del pallet. Automáticamente visualiza en su panel el detalle de ese lote: "Proveedor X - Despacho #123 - Peso total

embalaje: 12.5 kg, Reciclable: 9.8 kg (78 % Alto), Huella Carbono estimada: 4.2 kg CO₂e, junto con un enlace al certificado ECA. Este nivel de trazabilidad granular garantiza **información en toda la cadena** (desde el proveedor hasta el receptor) en línea con el principio de trazabilidad de la Ley REP ²⁷.

Panel de Control ESG para Mineras (Dashboard Clientes)

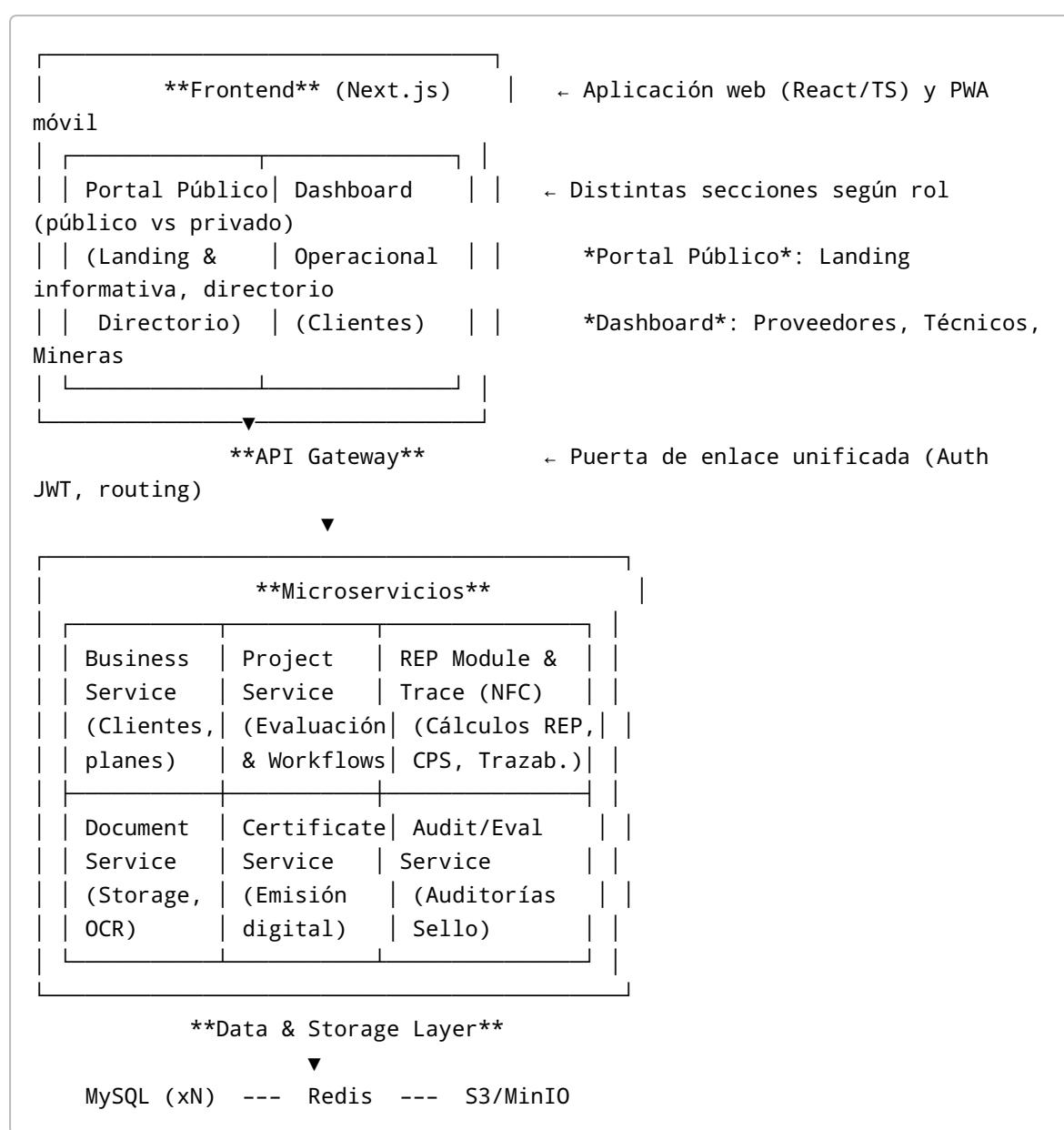
Para las compañías mineras (y otros **clientes industriales** que demandan proveedores sostenibles), SICREP ofrece un **Panel de Control ESG** con analítica avanzada. Este panel agrega y visualiza los datos de todos los proveedores certificados que forman parte de la cadena de suministro de la minera, proporcionando insights de sostenibilidad y cumplimiento:

- **Métricas de Cumplimiento REP:** El panel muestra el porcentaje de proveedores críticos que ya están certificados con SICREP, y emite **alertas automáticas** sobre proveedores que aún no cuentan con certificación ⁴². También presenta cuántos certificados de trazabilidad (adhesivos) se han validado en las recepciones de la minera en tiempo real ⁴³.
- **Huella de Carbono de la Caden**a: Utilizando los datos de peso y materiales de embalaje recopilados, el sistema calcula una estimación de la **huella de carbono asociada a los embalajes** de todos los proveedores. Se ofrece un **benchmark** para comparar la huella total de la minera vs. el promedio de la industria ⁴⁴ ³⁸. Por ejemplo, se puede visualizar: "Huella de Carbono anual por embalajes: 12.5 millones kg CO₂e (Minería X) vs 14.2 millones kg CO₂e (promedio industria)" ⁴⁵ ⁴⁶, indicando si la empresa está por debajo o sobre la media y en qué percentil se ubica.
- **Ranking ESG de Proveedores:** El dashboard incluye un ranking o scorecard de proveedores en función de indicadores ambientales, sociales y de gobernanza (ESG). Por ejemplo, calificaciones basadas en el % de reciclabilidad de sus embalajes, participación en programas de economía circular, cumplimiento normativo, etc. Se podrían asignar puntajes compuestos, mostrando a los proveedores más destacados (p.ej. "Proveedor A: ESG 85/100, Reciclabilidad 78 %, Carbono Neutral; Proveedor B: ESG 70/100...") ³⁷ ⁴⁷. Esto ayuda al área de abastecimiento a visualizar fortalezas y debilidades en su cadena: quiénes lideran en sostenibilidad y quiénes requieren mejoras.
- **Copper Mark y Estándares Internacionales:** Para mineras comprometidas con estándares globales como **The Copper Mark**, el panel mapea cómo SICREP contribuye al cumplimiento. The Copper Mark exige trazabilidad y criterios ESG en proveedores; el dashboard puede presentar un **índicador de cumplimiento** (ej. "% de proveedores alineados a Copper Mark Level A") ⁴⁸ ⁴⁹. En el caso de estudio Los Pelambres, se requería 90 % de proveedores con trazabilidad certificada ⁴⁹ ⁵⁰ – una métrica que el panel puede monitorear continuamente.
- **Reportes Ejecutivos y Descargables:** Los usuarios del panel (gerentes de sostenibilidad o procurement en la minera) pueden descargar **reportes trimestrales** con estadísticas clave de los proveedores ⁵¹. Estos informes consolidan información para facilitar reportes de sustentabilidad corporativos, por ejemplo: tendencias de optimización de embalajes, evolución de reciclabilidad por trimestre, y datos listos para agencias calificadoras ESG ⁵² ⁵³. Todos los datos están respaldados por evidencia verificable (ej: cada valor de % reciclaje proviene de certificados auditables), mejorando la **gobernanza de datos ESG** y la confianza en la información reportada.

Seguridad de datos: Dado que este panel maneja datos sensibles de múltiples proveedores, SICREP implementa segregación: una minera solo ve datos agregados o anonimizados de su cadena (respectando confidencialidad individual) ⁵⁴ ⁵⁵. Además, la plataforma proporciona APIs para que, si la minera lo desea, pueda integrar estos indicadores en sus sistemas internos (ej. integrar con SAP u otra herramienta via API REST o exportaciones) ⁵⁶ ⁵⁷.

2. Arquitectura Técnica: Microservicios y Diagrama de Componentes

La arquitectura de SICREP se basa en **microservicios** desacoplados que se comunican principalmente a través de APIs REST síncronas y eventos asíncronos (e.g. usando RabbitMQ/Kafka para ciertos procesos) [58](#) [59](#). La siguiente figura ilustra la estructura general de la solución:



Descripción de componentes:

- **API Gateway:** componente que centraliza las llamadas desde el frontend hacia los microservicios backend. Aplica autenticación JWT/OAuth2, controla el rate-limit y dirige cada solicitud al servicio correspondiente. Simplifica el consumo de las APIs por parte del frontend y otros clientes externos.

- **Business Service:** gestiona información comercial y de clientes (empresas proveedoras y clientes mineros), planes de suscripción, facturación y métricas de negocio ⁶⁰ ⁶¹. Por ejemplo, contiene lógica de precios (costos de certificación, tarifas por etiquetas) y el pipeline de ventas.
- **Project Service:** administra los **proyectos de certificación** (cada proveedor en proceso de obtener Sello SICREP se considera un proyecto con estado) ⁶². Implementa el *workflow* de las 10 fases (4 principales digitales + subetapas) del proceso de evaluación ⁶². Incluye seguimiento de SLA, asignación de técnicos, notificaciones y coordinación de auditorías.
- **Audit & Evaluation Service:** se enfoca en la ejecución de **auditorías y evaluaciones**. Aplica la matriz de criterios y cálculos de puntaje del Sello SICREP. Registra hallazgos de auditoría de terreno, genera informes de evaluación y recomendaciones.
- **Certificate Service:** genera y almacena los **certificados digitales** emitidos (Sello SICREP, certificados en proceso, certificados de trazabilidad por despacho, certificados anuales) ³⁴ ³⁵. Aplica firma electrónica avanzada a los PDFs y embebe códigos QR de verificación ⁶³. También expone el endpoint público de validación de certificados.
- **Document Service:** maneja el **almacenamiento de documentos** subidos (ej. documentos legales del proveedor, evidencias fotográficas de auditoría). Utiliza S3/MinIO para almacenamiento y puede aplicar OCR y clasificación automática de documentos ⁶⁴ ⁶⁵. Versiona archivos y controla accesos a documentos según permisos.
- **Workflow Service:** orquesta procesos automáticos y tareas programadas. Por ejemplo, envía alertas de hitos (notificación 30 días antes de expiración del sello, etc.), coordina colas de procesamiento (ej. generación masiva del reporte anual) y sincroniza con sistemas externos. Implementa un motor de workflow/BPM personalizable para distintos escenarios de certificación.
- **REP Module & Trace Service:** módulo especializado en **cálculos REP** (peso, metas de reciclaje) y en la gestión de **trazabilidad NFC/QR**. Aquí reside la lógica de CPS, cálculo de reciclabilidad, generación de etiquetas y registro de escaneos ⁶⁶ ⁶⁷. Este servicio se integra con hardware (p.ej. impresoras de etiquetas, lectores NFC) a través de APIs locales o SDK. También consolida los datos para los reportes SISREP anuales.
- (Nota: En algunos diseños este módulo se pudo dividir en dos: uno de cálculo REP y otro de trazabilidad, pero conceptualmente están ligados.)
- **Base de Datos y Almacenamiento:** cada microservicio mantiene su propia base MySQL (con Hibernate/JPA en el caso de Java services), garantizando bajo acoplamiento de datos (principio *database-per-service*). Redis se usa como caché distribuido para acelerar lecturas frecuentes (ej. catálogos de materiales, sesiones), y S3/MinIO almacena documentos y PDFs generados ².

Stack tecnológico resumido: *Backend:* Java 11/Spring Boot 2.7 (microservicios), Spring Security (OAuth2, JWT), JPA/Hibernate (MySQL); *Frontend:* Next.js 14 (React), TypeScript, Chakra UI (asunción de librería UI); *Infra:* Docker/Kubernetes (despliegue en cloud), CI/CD con GitHub Actions, observabilidad con Prometheus, Grafana y ELK stack ⁶⁸ ⁶⁹.

Flujos entre módulos: Los microservicios se comunican principalmente vía API síncrona a través del gateway. Ejemplos: - Al **aprobar la Fase 2** de evaluación, el *Audit Service* llama al *Project Service* para actualizar el estado del proyecto y al *Notification/Workflow Service* para programar la auditoría (Fase 3). - Cuando se **genera un CPS**, el *Trace Service* guarda los detalles en su DB y notifica (evento) al *Certificate Service* para que emita la etiqueta PDF con QR y la almacene en S3 (a través del *Document Service*). - Al **escanear un QR**, el *Certificate Service* sirve la página de validación consultando al *Trace Service* los datos del lote (peso, reciclabilidad) y al *Business Service* datos públicos del proveedor (nombre, certificaciones) que se muestran en el informe. - Para el **dashboard de mineras**, un *Analytics Service* (dentro de Business o separado) extrae datos agregados de varios servicios: porcentajes de certificados (*Certificate Service*), promedios de reciclabilidad (*Trace Service*), incidencias de cumplimiento (*Project/Audit Service*), etc., consolidándolos para la vista frontal.

Todas las interacciones se auditán y quedan registradas (audit trail) para fines de trazabilidad interna y cumplimiento (por ejemplo, requerimiento SMA de trazas de auditoría).

3. Wireframes y Diseño de Interfaces Clave

A continuación se presentan diseños conceptuales (*wireframes*) de las interfaces más relevantes de SICREP. Estas interfaces priorizan la **usabilidad** y la claridad para usuarios técnicos y no técnicos, cumpliendo con el estilo profesional y moderno de la plataforma.

3.1 Interfaz de Evaluación – Proceso Sello SICREP

Objetivo: Permitir a un proveedor y a los auditores ECA gestionar de forma intuitiva la certificación inicial.

- **Solicitud y Documentación:** La pantalla inicial muestra un formulario paso-a-paso para que el proveedor complete la información de su empresa y adjunte documentos requeridos. Se incluyen indicadores de progreso de fases. Por ejemplo, una sección “Documentos Legales” con campos para subir el e-RUT (archivo PDF) y certificado de vigencia, que una vez cargados muestran un . La UX valida en tiempo real que los archivos cumplan formato (PDF) y fecha dentro de vigencia.
- **Dashboard de Evaluación (Auditor):** Los técnicos ECA ven un tablero con la lista de proveedores en evaluación. Al seleccionar uno, acceden a una vista que resume la información del proveedor y sus documentos subidos, con campos para puntuar cada criterio de la matriz. Un diseño tipo tabla o acordeón por categoría (Legal, Operativo, Sostenibilidad, Valor Agregado) permite ingresar puntajes y comentarios. Al final, un botón “Calcular Puntaje” aplica la ponderación automáticamente y muestra el resultado (en %). La interfaz resalta en color verde si $\geq 85\%$, amarillo si 60–84 %, rojo si <60 %, dando feedback inmediato del status.
- **Auditoría en Terreno – Checklist:** Para Fase 3, la interfaz (en tablet) presenta un **checklist interactivo** de verificación: preguntas con casillas sí/no, campos para observaciones y opción de tomar fotografías in-app. Por ejemplo: “¿El procedimiento de información a clientes (POE) está implementado y visible? (Sí/No) – [Tomar Foto]”. Las fotos y notas se adjuntan al registro del proveedor en el sistema.
- **Dictamen y Emisión:** Una pantalla para el Comité con un resumen ejecutivo: puntaje final, principales brechas u observaciones, y botones para **Aprobar Sello o Rechazar/Observaciones**. Si aprueban, el sistema genera automáticamente el Certificado Sello SICREP (PDF con firma digital) que queda disponible para el proveedor en su portal.

Aspectos de UX: Se emplean indicadores de estado (etiquetas *En Revisión*, *Pendiente Auditoría*, *Aprobado*), timeline del proceso, y notificaciones automatizadas. La interfaz es responsive para uso en campo (tablets) y compatible con varios navegadores. También se integra con correo: por ejemplo, desde la misma pantalla el auditor puede hacer clic en “Solicitar info adicional”, lo que dispara un email pre-escrito al proveedor.

3.2 Interfaz de Certificación de Embalajes (CPS y Despachos)

El diseño de esta interfaz busca ser **simple e intuitivo** para PYMEs, evitando jerga técnica, ya que muchos usuarios podrían no ser expertos en REP. A continuación se muestra un wireframe conceptual de la pantalla de certificación de embalajes:

Wireframe – Módulo de Certificación de Embalajes (Cálculo de Peso y CPS).

- **(1) Selección de Material:** Un menú desplegable permite escoger el tipo de material del embalaje principal (Papel/Cartón, Plástico, Vidrio, Metal, Madera, Otros). Al seleccionar, la interfaz puede mostrar sub-opciones (p.ej. Plástico → PE, PP, PET) para mayor detalle, alineado con categorías del DS 12/2020.
- **(2) Ingreso de Dimensiones:** Campos para introducir largo, ancho, alto (en cm) y espesor o calibre si aplica. Opciones adicionales como peso unitario directo si el proveedor ya lo conoce. La validación en tiempo real (usando por ejemplo la librería Zod en frontend) marca campos obligatorios y unidades de medida ⁷⁰.
- **(3) Cálculo de Peso:** Un botón “Calcular peso” permite obtener el peso estimado del embalaje según las dimensiones y densidad del material seleccionado (para algunos materiales, la plataforma podría tener datos predeterminados). Al presionarlo, se muestra el **resultado en gramos** en un recuadro destacado, acompañado del **nivel de reciclabilidad** (Alto/Medio/Bajo) calculado según el algoritmo mostrado anteriormente ²¹. Por ejemplo: “*Peso: 535 g - Reciclabilidad: Alto (82%)*”. Esto da feedback inmediato al proveedor sobre la calidad de su embalaje en términos REP.
- **(4) Generación de CPS:** Al confirmar los datos, el usuario hace clic en “Generar CPS”. El sistema entonces crea un **Código de Producto SICREP** único y lo guarda. La interfaz muestra un mensaje como “*CPS generado: 8G21-PLAS-0045*” con un botón para copiar el código ⁷¹ ⁷². Ese código identifica al tipo de embalaje para usos futuros (despachos).
- **(5) Registro de Despacho & Etiqueta:** En la misma pantalla o en una pestaña “Certificar Despacho”, el proveedor selecciona un CPS de su catálogo y especifica la cantidad de unidades de producto o bultos a despachar. El sistema entonces lista los componentes del embalaje con sus pesos totales y recalcula la info (por ej., *Caja: 450 g × 10 = 4.5 kg*). Un botón “Generar Etiqueta” produce el PDF con el **QR/NFC** ²². Opcionalmente, si el proveedor tiene una **etiqueta NFC virgen**, en este paso puede acercarla al dispositivo para grabar el UID al CPS (campo para asociar NFC) ⁷³. Tras generar, se muestra una vista previa de la etiqueta y opciones para *Imprimir o Descargar PDF*.

La interfaz prioriza que en **3-4 clics** el usuario pueda certificar un envío: seleccionar CPS, ingresar cantidad, generar etiqueta. Se han minimizado pasos para fomentar su adopción incluso en operaciones logísticas aceleradas.

3.3 Interfaz de Escaneo NFC/QR (Validación)

Este es el punto de interacción para usuarios externos (operadores de la minera, auditores visitantes, etc.) al recibir un código de trazabilidad:

- **Pantalla de Validación Pública:** Al acceder vía QR/NFC, se carga una página web ligera con branding SICREP y del proveedor. Muestra inmediatamente un **resumen del certificado de trazabilidad**: proveedor emisor, fecha del despacho, destino (mina/planta receptora), y tabla de materiales con pesos. Incluye también indicadores de impacto: por ejemplo, “*Emisiones evitadas por reciclaje: 1.2 kg CO2e*” si es que el embalaje tiene componente reciclado, o “*Este embalaje es 82% recicitable (Alto)*”. Al final un botón “Descargar Informe PDF” permite obtener un documento firmado digitalmente con todos esos datos, equivalente al certificado impreso ²³.
- **Detalles ESG del Proveedor:** Debajo de la tabla principal, la interfaz puede opcionalmente mostrar una sección con **datos ESG del proveedor**: su puntaje Sello SICREP, otras certificaciones (ej. “Proveedor con ISO 14001”), y estadísticas de su desempeño ambiental (por ejemplo, “*En 2025 este proveedor reportó 2.3 toneladas de embalajes, con 75% reciclabilidad promedio*”). Esto contextualiza al receptor sobre la confiabilidad y nivel de compromiso del proveedor.

- **Experiencia Móvil Optimizada:** Como muchos usuarios escanean el código con smartphones, la página está diseñada en *mobile-first*, con carga rápida. Un elemento importante es un **índicador de autenticidad en línea** (por ejemplo un ícono de verificación verde "Certificado Válido por SICREP") que refuerza que la información proviene de un tercero acreditado (ECA). En caso de que el código estuviera duplicado o expirado, se mostraría una alerta roja "*Código no válido o certificado expirado*".
- **Interacción con Panel Cliente:** Si el usuario que escanea está autenticado en el sistema (por ejemplo, un empleado de la minera logueado), el sistema registra automáticamente el evento de recepción en el Panel de Control de la minera. Se podría mostrar una opción "Marcar como recibido en mi panel" para integrar la validación con la gestión interna de la empresa cliente. En segundo plano, se envía además confirmación al proveedor de que su despacho fue validado.

La interfaz de escaneo se limita a funciones de consulta y descarga, sin requerir pasos adicionales, ofreciendo máxima simplicidad. Esto incentiva a todos en la cadena (transportistas, recepcionistas) a realmente utilizar la herramienta, aumentando la trazabilidad real en campo.

3.4 Panel de Control ESG – Vista Ejecutiva para Clientes (Mineras)

El diseño del panel ejecutivo se asemeja a un **dashboard de business intelligence**, con gráficos interactivos y filtros de datos:

- **Resumen KPI:** En la parte superior, se presentan **tarjetas resumen**: % proveedores certificados, Total embalajes trazados (kg) este mes, Huella de carbono acumulada, Ahorro estimado por reciclaje etc. Cada tarjeta tiene iconografía sencilla (ej. ícono de medalla para % certificados, ícono de balanza para kg, huella para CO2).
- **Gráficos de Tendencia:** Un gráfico de líneas muestra la evolución mensual del porcentaje de embalajes reciclables o de la huella de CO2 en la cadena, comparando el año actual con el anterior. Otro gráfico (barras apiladas) podría mostrar por trimestre cuántos proveedores están en nivel *Alto, Medio, Bajo* de reciclabilidad. Estas visualizaciones permiten ver mejoras o detectar meses anómalos.
- **Benchmarking:** Una sección comparativa permite a la minera verse frente al benchmark de la industria. Por ejemplo, un gráfico tipo gauge o ranking: "*Posición en eficiencia de carbono: Top 15%*" 46 74, o "*vs otras mineras de similar escala estás 10% por encima en % de reciclaje de embalajes*". Estos insights proveen valor agregado más allá del cumplimiento.
- **Tabla de Proveedores:** Una tabla interactiva lista todos los proveedores de la minera con columnas: *Nombre, % Reciclabilidad promedio, Certificación SICREP (Sí/No), Nivel ESG (score)*. Permite ordenar por cualquiera de estos campos, p. ej. identificar el proveedor con menor reciclabilidad. Al hacer clic en un proveedor se podría abrir su ficha detallada (como la del Directorio público pero con datos ampliados para el cliente, incluyendo gráficos de desempeño de ese proveedor a lo largo del tiempo).
- **Sección Riesgos & Alertas:** Si algún proveedor certificado presenta incidencias (por ejemplo, certificados venciendo pronto, o algún despacho con reciclabilidad baja inusual), aparecerán alertas tipo "*⚠ Proveedor XYZ – Sello expira en 30 días*" o "*⚠ Proveedor ABC – Reciclabilidad promedio cayó a 40% este trimestre*". También se reflejan alertas relacionadas a cumplimiento legal (ej. un recordatorio de declarar en RETC antes del 31 de mayo, etc.), aunque esto principalmente afecta al proveedor.
- **Exportar/Reportes:** Un botón destacado "Generar Reporte Trimestral" permite descargar un PDF con los gráficos y datos principales para uso interno o presentación a gerencias 51 75. Asimismo, se ofrece exportar datos crudos en Excel/CSV para analistas que deseen profundizar.

En cuanto al estilo visual, el panel usa colores neutros con acentos en verde y azul (asociados a sostenibilidad y tecnología). Prioriza la **claridad visual**: mucho uso de pictogramas, leyendas

explicativas y tooltips en los gráficos para definiciones de métricas. La navegación es mediante pestañas o secciones claramente rotuladas: *Resumen, Proveedores, Tendencias, Configuración*.

Por último, la **configuración** del panel permite al usuario definir metas internas (por ej. "Objetivo: 100% proveedores certificados este año") para luego visualizar barras de progreso. Esto aumenta el involucramiento de la empresa cliente con la plataforma, convirtiéndola en una herramienta de gestión activa y no solo de monitoreo pasivo.

4. Código/Pseudocódigo Clave de la Solución

En esta sección se destacan fragmentos de algoritmos y configuraciones técnicas relevantes para el núcleo del sistema SICREP, enfatizando cálculos y mecanismos que aseguran la trazabilidad y confiabilidad de los datos:

- **Cálculo de Peso REP y Reciclabilidad:** [Mostrado previamente] el algoritmo en TypeScript (ejecutable también en backend Java) que suma pesos de componentes y calcula el porcentaje reciclable ²¹. Este pseudocódigo forma parte del **REP Module** y se ejecuta cada vez que un proveedor registra un despacho. Además, la lógica aplica las reglas de exclusión definidas en normativa (por ejemplo, si cierto material no cuenta para la meta de reciclaje, se excluye del pesoRecicitableGr). Los umbrales 70/50% para "Alto/Medio/Bajo" se basan en lineamientos sectoriales para categorizar la reciclabilidad de un embalaje.
- **Generación de Código CPS:** Cada *Código de Producto SICREP* debe ser único a nivel nacional. Una forma de generarlo es combinar identificadores: por ejemplo, tomar las primeras letras del proveedor + un código incremental. En SICREP se optó por un formato aleatorio legible: 4-5 caracteres alfanuméricos separados por guiones, evitando colisiones mediante consulta a la base de datos. Un pseudocódigo en Java podría ser:

```
String nuevoCPS;
do {
    nuevoCPS = RandomString.make(4) + "-" + RandomString.make(4);
} while (cpsRepository.existsById(nuevoCPS));
// Guarda el CPS con referencia al proveedor y detalles
cpsRepository.save(new CPS(nuevoCPS, proveedorId, pesoUnitario,
material));
```

Esto genera códigos como "A7F3-X9KP". Alternativamente, se podría usar un UUID corto o un identificador numérico, pero el formato elegido facilita su lectura en etiquetas físicas.

- **Lectura/Escritura NFC (Tags NDEF):** La grabación de tags NFC se realiza desde la aplicación móvil (PWA) usando la Web NFC API. Un ejemplo simplificado en JavaScript:

```
const urlVerificacion = `https://sicrep.cl/trace/${UID}`;
const ndef = new NDEFWriter();
try {
    await ndef.write({records: [{ recordType: "url", data:
urlVerificacion }]});
    console.log(" Tag NFC grabado:", urlVerificacion);
} catch(err) {
    console.error("Error grabando NFC:", err);
}
```

Donde `UID` es un identificador único generado por SICREP para el lote/CPS. La lectura se maneja con `NDEFReader()` que redirige automáticamente al URL embebido. Esto permite que con solo acercar un smartphone, se abra la página de certificado correspondiente ³⁶.

- **Autenticación JWT – Configuración Spring Security:** El backend define un filtro JWT que intercepta llamadas entrantes:

```
@Configuration
public class SecurityConfig extends WebSecurityConfigurerAdapter {
    @Override
    protected void configure(HttpSecurity http) throws Exception {
        http.csrf().disable()
            .authorizeRequests()
            .antMatchers("/public/**").permitAll()
            .anyRequest().authenticated()
            .and()
            .oauth2ResourceServer().jwt();
    }
}
```

En el archivo de propiedades se define la clave secreta y expiración del token JWT (por ejemplo 24 horas) ⁷⁶ ⁷⁷. Los JWT incluyen claims de roles para que la aplicación determine permisos sin consultas adicionales a la base de datos en cada request.

- **Integración con SISREP (Gobierno):** Aunque actualmente la declaración anual requiere que el productor suba manualmente el informe al portal gubernamental, se está trabajando en automatizar este paso. Por ejemplo, generar un archivo XML con el formato requerido y usar un cliente REST para enviarlo si el servicio gubernamental lo permite. Un pseudocódigo puede ser:

```
reporte = generar_reporte_sisrep(proveedor)
xml = convertir_a_xml_oficial(reporte)
response = requests.post(SISREP_API_URL, auth=gov_token, files={'file': xml})
if response.ok:
    marcarDeclaracionEnviada(proveedor, año)
```

Esto muestra la idea de interoperabilidad que se busca: reducir al mínimo la intervención humana en el cumplimiento normativo.

Cada fragmento de código en el sistema se desarrolla con buenas prácticas de calidad: pruebas unitarias (JUnit5 para Java, etc.), revisión de código, y está alineado con las normativas de protección de datos (cifrado de datos sensibles en reposo y en tránsito) y principios de diseño sostenibles (eficiencia en las operaciones para minimizar uso de recursos).

5. Cumplimiento Normativo y Sostenibilidad

SICREP fue concebido desde sus bases para **alinearse con la Ley REP (Nº 20.920)** y otras normativas relacionadas, incorporando requisitos técnicos y buenas prácticas de sostenibilidad:

- **Ley 20.920 y DS 12/2020:** La plataforma implementa la **trazabilidad en el manejo de residuos** exigida por la ley ²⁷, registrando información en toda la cadena, desde la generación del

residuo (embalaje en origen) hasta su entrega al receptor industrial. El módulo de clasificación de materiales sigue las definiciones del **DS 12/2020** (Reglamento de Envases y Embalajes) para distinguir tipos de materiales valorizables ²⁶, calcular metas de recolección y valorización, y generar reportes en el formato oficial. Por ejemplo, el Reporte Anual SISREP incluye categorías exactas (papel/cartón, plástico PET, PE, PP, etc., vidrio, metal, madera) tal como exige la autoridad.

- **Entidad Técnica de Certificación (ECA) Autorizada:** SICREP opera como ECA acreditada ante la SMA (Superintendencia de Medio Ambiente) ⁷⁸ ⁷⁹, lo que significa que sus procedimientos cumplen estándares de auditabilidad. El **Sello SICREP** es un esquema voluntario pero que justifica ante clientes y autoridades el cumplimiento del Art. 8° de la ley (responsabilidad extendida) y Art. 48 ter (certificación de gestión de residuos, si aplica). Todos los certificados emitidos por SICREP llevan la firma electrónica avanzada de la entidad certificadora, cumpliendo requisitos de **validez legal y probatoria** en fiscalizaciones.
- **Protección de Datos y Privacidad:** Dado que se manejan datos de empresas (p.ej. cantidades producidas, información comercial), SICREP implementa controles de acceso estrictos (ver Módulo de Usuarios/Roles) y encripta datos sensibles en la base (por ejemplo, contraseñas hash, tokens). Además, se adhiere a la Ley 19.628 de protección de datos personales en Chile, asegurando que no se compartirá información individual de proveedores sin consentimiento, más allá de lo necesario (los datos del Panel Mineras se muestran de forma agregada o anonimizada) ⁸⁰ ⁸¹.
- **Estándares ESG y Mejores Prácticas:** La plataforma incorpora lineamientos de reporting ESG reconocidos internacionalmente. Por ejemplo, métricas de reciclabilidad y huella de carbono se alinean con indicadores GRI (Global Reporting Initiative) relacionados a residuos (GRI 306) y emisiones (GRI 305). También, al proporcionar trazabilidad y datos fiables, apoya a las empresas en estándares como **ISO 14001** (gestión ambiental) y protocolos de cadenas limpias (ej. The Copper Mark para minería responsable) ⁴⁸ ⁸². SICREP actúa como herramienta facilitadora para que las empresas demuestren compromiso ambiental en auditorías ESG, aportando “*métricas exactas de % reciclabilidad por proveedor*” que mejoran sus puntajes con evaluadores externos ⁸³ ⁸⁴.
- **Actualización Normativa:** La legislación ambiental es dinámica; por ello, SICREP mantiene sus módulos actualizados. Si surgen nuevas exigencias (p.ej. nuevos productos prioritarios bajo ley REP, cambios en metas porcentuales, resoluciones SMA), el sistema está diseñado para adaptarse mediante actualizaciones de software modulares. El equipo de SICREP participa en mesas técnicas con el Ministerio del Medio Ambiente para adelantarse a cambios y ofrecer a los clientes *compliance* continuo sin sobresaltos.

En resumen, la plataforma no solo cumple con la normativa vigente, sino que **proporciona un marco de buenas prácticas** para sus usuarios: fomenta la economía circular (al destacar ecodiseño y reciclabilidad), la transparencia en la cadena logística, y la reducción del riesgo legal por incumplimiento (trasladando carga de prueba y gestión de datos a un sistema robusto).

6. Recomendaciones de Mejora e Innovación

Finalmente, se proponen mejoras y funciones innovadoras para fortalecer a SICREP de cara al futuro, enfocadas en trazabilidad, gobernanza de datos ESG, interoperabilidad y experiencia de usuario:

- **Integración Blockchain para Trazabilidad:** Aunque el sistema ya asegura inmutabilidad en su base de datos, incorporar una capa de **blockchain** puede llevar la confianza un paso más allá. Por ejemplo, registrar cada certificado de despacho en una blockchain pública o privada, guardando el hash del certificado ⁸⁵ ⁸⁶. Esto haría virtualmente imposible cualquier alteración de datos sin ser detectada y aportaría transparencia a nivel de ecosistema (proveedores, clientes

y reguladores podrían verificar independientemente la existencia de un registro). Se podría implementar con tecnologías tipo Ethereum (smart contracts) o Hyperledger Fabric para consorcios privados.

- **API Abierta y Estandarización (Interoperabilidad):** Para maximizar la interoperabilidad, se recomienda exponer aún más APIs públicas (con los debidos controles) para que terceros sistemas interactúen con SICREP. Por ejemplo, habilitar un **API REST para que las mineras consulten el estado de certificación de un proveedor** en tiempo real (ya se ha contemplado integración con sistemas SAP en casos piloto ⁸⁷ ⁵⁷). Asimismo, adoptar estándares como **JSON-LD** o **GS1 Digital Link** para las URL de trazabilidad podría alinear la solución con iniciativas globales de trazabilidad de productos.

- **Módulo Marketplace Sostenible:** Una idea innovadora es evolucionar el Directorio de Proveedores en un **Marketplace** donde las mineras u otras empresas puedan no solo buscar, sino también *adquirir servicios o productos certificados*. Por ejemplo, un comprador podría lanzar una solicitud de cotización y los proveedores certificados en SICREP podrían responder a través de la plataforma. Con las métricas ESG visibles (ej. puntuaciones, huella, reviews), se promueve la competencia por sostenibilidad ³⁷ ⁴⁷. Esto agregaría valor comercial a SICREP, posicionándolo no solo como un software de cumplimiento, sino como un hub de negocios verdes.

- **Inteligencia Artificial para ESG Risk Management:** Aprovechar los datos históricos para implementar **machine learning** que identifique riesgos y oportunidades. Ejemplo: un modelo que analice patrones de despachos y alerte si un proveedor muestra tendencia a disminuir su reciclabilidad o no reporta datos consistentemente (posible riesgo futuro). O usar IA generativa para sugerir mejoras a proveedores: *"Tu porcentaje de plástico reciclado es bajo, considera cambiar a material X o proveedor Y que podría ahorrarte Z kg CO₂"*. Esto convertiría a SICREP en un asesor proactivo de sostenibilidad, más allá de un registrador de datos.

- **Mejoras en UX y Movilidad:** Si bien ya existe una PWA, se podría desarrollar una **aplicación móvil nativa** enfocada en los técnicos de terreno y en los encargados de bodegas de proveedores. Con funciones como escaneo de código de barras de materiales (para agilizar registro de componentes) o reconocimiento de imagen para identificar tipos de embalaje, se reduciría la carga manual. En la interfaz web, incorporar más tutoriales interactivos o chatbots de ayuda podría mejorar la adopción por parte de usuarios menos técnicos.

- **Gobernanza de Datos ESG:** A medida que crece la base de datos, SICREP podría ofrecer a las empresas la posibilidad de integrarse con sus sistemas de reporte de sustentabilidad (ej. software de reporting integrado). También, garantizar **auditorías periódicas de datos** – quizás mediante terceros – para validar la calidad de la información ESG almacenada. Esto reforzará la credibilidad de SICREP como fuente de "verdad" en métricas ambientales.

- **Expansión a otros flujos de residuos:** La arquitectura modular permite que SICREP extienda su alcance a otras áreas de la Ley REP (ej. neumáticos, baterías, aparatos eléctricos). Una recomendación es planificar módulos análogos para otros productos prioritarios, reutilizando la base (por ejemplo, un "SICREP Envases" que ya tenemos, pero también "SICREP Neumáticos"). Esto implicaría preparar la plataforma para manejar diferentes tipos de certificados y cálculos, manteniendo un núcleo común.

En conclusión, SICREP ya es una plataforma robusta que digitaliza y asegura la trazabilidad de envases regulados por la Ley REP. Implementando las mejoras sugeridas, puede **consolidarse como el estándar nacional** en certificación ambiental de proveedores, incrementando su propuesta de valor: no solo ayuda a cumplir la ley, sino que impulsa eficiencias operativas, genera inteligencia de negocio ESG y crea una comunidad de proveedores comprometidos con la economía circular ⁸⁸ ⁸⁹. El camino futuro implica abrazar más tecnología (Blockchain, AI), más integración (APIs abiertas, estándares internacionales) y seguir manteniendo al usuario en el centro (UX intuitiva, features de alto valor práctico), para que la sostenibilidad sea accesible y verificable para todos los actores de la cadena de suministro.

Referencias: Documentación interna de SICREP, Ley 20.920 Fomento al Reciclaje, DS 12/2020 Envases y Embalajes, manuales técnicos y ejecutivos de la plataforma, y mejores prácticas en sistemas de trazabilidad y ESG. 1 27

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 17 18 19 20 21 22 23 24 25 34 35 36 39 62 64

65 66 67 70 71 72 73 Manual_Tecnico_Plataforma_Evaluacion_Embalaje_SICREP.md

file://file-Qff4XXsg8mTAnznyBs7msM

15 16 26 Modelo de Negocio, Operacional y de Sistema SICREP.pdf

file://file_00000000193071f5ab877641e10395bf

27 Preguntas-Frecuentes-Ley-REP.pdf

file://file_00000000317071f59ab2a858bb6d89c2

28 29 30 31 32 58 59 68 69 Manual técnico landing diseño.pdf

file://file_00000000c98871f5ac683ea50ac3b668

33 SICREP_Roles_Completos_V3.md

file://file_000000003e9871f5854b3b5d629d0723

37 38 44 45 46 47 74 SICREP-Insights-Estrategico (3).md

file://file_000000009640720e9cc2ef758afff7d1

40 41 60 61 63 pdf_6df9a202.pdf

file://file_00000000428871f58cde30c76dda56aa

42 43 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 75 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 sicrep-

informe-ejecutivo-completo-implementacion.pdf

file://file_000000008e8720ebc64958e52563fd9

76 77 SICREP_Manual_Tecnico_Completo.md

file://file_00000000bfd071f5893dd17702b330a4