ARQUITECTURA TÉCNICA, TELEDETECCIÓN SATELITAL, GEODESIA Y CONEXIÓN UE TRACES NT

# Manual de Funcionamiento Integral: ¿Cómo Detecta CarbonVault EUDR la Deforestación, Quién Certifica los Datos y Cómo Mide Exactamente entre Mojones sin Equipos GPS Costosos?

**Cumplimiento Estricto del Reglamento (UE) 2023/1115 (EUDR)** • Aplicación para Exportadores de Cacao, Café, Madera y Derivados • Integración de **Plataforma Web Corporativa** + **Instrumento Móvil APK para Peritos de Campo** + **Módulo de Dictamen Jurídico (Art. 3.b)**.

- Fecha de Corte Legal UE: 31 de Diciembre de 2020
- Estándar Geodésico: WGS84 (EPSG:4326 • 6 Decimales)
- Retención Auditable: 5 Años (Art. 9.1 y 12.5)

## 1. ¿Cómo Sabe la Aplicación si una Parcela Fue o No Fue Deforestada Después de 2020?

La aplicación **NO inventa, NO simula ni adivina** si hubo deforestación. Tampoco depende de la opinión subjetiva de un inspector. Cuando un usuario o un técnico sube o traza las coordenadas de una finca (polígono de vértices `[longitud, latitud]`), nuestro servidor ejecuta un proceso matemático y satelital verificable en **4 etapas reales**:

### Etapa 1: Proyección Web Mercator y Descarga en Vivo del Raster Satelital Oficial de Global Forest Watch (WRI / Universidad de Maryland)

El backend de CarbonVault convierte las coordenadas geográficas `WGS84` de cada esquina de la finca a coordenadas de mosaico satelital (*Slippy Map Tile* en nivel de zoom `z = 12`, donde cada píxel equivale a $\approx 30\text{ m} \times 30\text{ m}$ en el ecuador) y descarga en tiempo real los **3 mapas raster binarios oficiales (PNG de $512 \times 512$ píxeles)** directamente desde los servidores científicos de **Global Forest Watch (`tiles.globalforestwatch.org`)**:

- **1. Pérdida Anual de Cobertura Arbórea (UMD Tree Cover Loss v1.13 — Landsat 30m):** `https://tiles.globalforestwatch.org/umd_tree_cover_loss/v1.13/dynamic/12/{x}/{y}.png`
- **2. Bosque Primario Tropical Húmedo (UMD Regional Primary Forest 2001):** `https://tiles.globalforestwatch.org/umd_regional_primary_forest_2001/latest/dynamic/12/{x}/{y}.png`
- **3. Alertas Integradas de Alta Resolución 10m (Sentinel-2 GLAD-S2 + Radar Sentinel-1 RADD):** `https://tiles.globalforestwatch.org/gfw_integrated_alerts/latest/dynamic/12/{x}/{y}.png`

### Etapa 2: Decodificación Matemática Píxel por Píxel del Canal Azul (`Blue Channel = Año de Tala`)

En los archivos raster oficiales de la **Universidad de Maryland (GLAD) y el World Resources Institute (WRI)**, cada píxel de la imagen satelital almacena en sus bytes `RGBA` la historia exacta de ese trozo de tierra de $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ ($0.09\text{ hectáreas}$):

```
• Si Canal Alpha (A) == 0: Píxel SIN pérdida de bosque registrada entre 2001 y la fecha actual. • Si Canal Alpha (A) > 0 y Canal Rojo (R) > 0: Píxel donde el satélite detectó tala/pérdida de dosel arbóreo. • El CANAL AZUL (Blue = valor entre 1 y 25) codifica el AÑO EXACTO de la pérdida (Año = 2000 + Blue): - Blue = 1 a 20 ---> Pérdida ocurrida entre 2001 y 2020 (ANTES de la fecha límite EUDR: PERMITIDO). - Blue = 21 ---> Pérdida ocurrida en el año 2021 (POST-2020: INFRACCIÓN EUDR). - Blue = 22 ---> Pérdida ocurrida en el año 2022 (POST-2020: INFRACCIÓN EUDR). - Blue = 23 ---> Pérdida ocurrida en el año 2023 (POST-2020: INFRACCIÓN EUDR). - Blue = 24 ---> Pérdida ocurrida en el año 2024 (POST-2020: INFRACCIÓN EUDR). - Blue = 25 ---> Pérdida ocurrida en el año 2025 (POST-2020: INFRACCIÓN EUDR).
```

Nuestro servidor descomprime el flujo binario `IDAT` del PNG usando `zlib.inflateSync`, reconstruye los filtros PNG (Sub, Up, Average, Paeth) y aplica un algoritmo geométrico de **Ray-Casting (Point-in-Polygon)** para leer **únicamente los píxeles que caen dentro de los linderos exactos de la finca evaluada**.

### Etapa 3: ¿Cómo Distingue un Cacaotal o Cafetal Bajo Sombra de una Deforestación Real? (Metodología Whisp de la FAO)

En países productores como **Venezuela (Barlovento, Paria, Mérida, Sur del Lago)**, Colombia o Perú, el cacao y el café se cultivan bajo árboles de sombra (bucares, guamos, cedros). Si un agricultor poda los árboles de sombra después de 2020, un satélite óptico simple podría confundirlo con deforestación. Para evitar este falso positivo, CarbonVault aplica la matriz de **Convergencia de Evidencia de Whisp (Open Foris / FAO de las Naciones Unidas)**:

- Cruza los píxeles de pérdida post-2020 contra la línea base de **Bosque Primario Tropical (JRC Tropical Moist Forests 2020 de la Comisión Europea)** y el registro de cultivo agrícola permanente.
- **Resultado 1 — `LOW RISK` (Riesgo Bajo / Apto para Exportar):** 0 píxeles de pérdida de bosque primario después del 31 de diciembre de 2020.
- **Resultado 2 — `MORE INFO NEEDED` (Requiere Verificación Agroforestal / Dictamen Legal):** Existe variación menor de dosel (< 0.5 ha) en zona de cultivo arbóreo permanente (cacao/café bajo sombra) sin destrucción de bosque primario. Se respalda con la inspección agronómica y el Dictamen Jurídico Art. 3(b).
- **Resultado 3 — `HIGH RISK` (Riesgo Alto / Rechazo y Segregación Automática):** Píxeles confirmados de tala de bosque primario entre 2021 y 2025 o alertas activas Sentinel-2/RADD. El sistema bloquea esa parcela y la segrega del contenedor para no contaminar el resto del embarque.

## 2. ¿De Dónde Toma la Información el Sistema, Quién Hace la Evaluación y Qué Hace la API Oficial de la Unión Europea (TRACES NT)?

Es fundamental para el **Escritorio Jurídico Socio** y para los exportadores entender la diferencia entre **quién provee la evidencia satelital científica** y **qué hace el sistema aduanero oficial de la Unión Europea (`TRACES NT`)**:

| ORGANISMO / FUENTE OFICIAL | ENDPOINT / SISTEMA CONECTADO | ¿QUÉ INFORMACIÓN ENTREGA? | ROL LEGAL BAJO EL REGLAMENTO (UE) 2023/1115 |
|---|---|---|---|
| **1. Global Forest Watch (WRI + Universidad de Maryland GLAD)** | `tiles.globalforestwatch.org` (Series Landsat 30m `v1.13` + Sentinel 10m) | Píxeles exactos de pérdida de cobertura arbórea año por año (`2001-2025`), bosque primario y alertas radar/ópticas. | **Evidencia Científica del Artículo 3(a):** Prueba objetiva de que el polígono no sufrió deforestación post-2020. |
| **2. FAO (Naciones Unidas — Open Foris Whisp) & JRC de la Comisión Europea** | Matriz de Convergencia de Evidencia `Whisp` + Línea Base `JRC TMF 2020` | Clasificación del riesgo agroforestal (`Low Risk`, `More Info Needed`, `High Risk`) diferenciando bosque primario de cacao/café bajo sombra. | **Evaluación y Mitigación del Riesgo (Artículo 10 EUDR):** Estándar reconocido por la UE y la FAO para productores agrícolas. |
| **3. NASA SRTM / Open-Elevation & OpenStreetMap Overpass** | `api.open-elevation.com` `nominatim.openstreetmap.org` | Altitud topográfica real en metros sobre el nivel del mar (`msnm`), pendiente del terreno, municipio, estado y país exacto del polígono. | **Verificación de Coherencia Agronómica (Artículo 9.1.d):** Valida que la ubicación y altitud correspondan al cultivo declarado. |
| **4. Comisión Europea — Sistema Oficial TRACES NT (DG SANTE)** | Web Service SOAP `EUDRSubmissionServiceV1` + Seguridad Criptográfica `WS-Security` | Recibe la Declaración de Debida Diligencia (`DDS`) con el polígono `GeoJSON` en `Base64` y devuelve el **Número de Referencia DDS** y el **Token de Verificación**. | **Requisito Aduanero Obligatorio (Artículos 4 y 33 EUDR):** Sin el Número de Referencia DDS de TRACES NT en el DUA (código TARIC `C716`), la aduana europea bloquea el contenedor. |
| **5. Escritorio Jurídico Socio en el País de Producción (Venezuela)** | Módulo de Dictamen Jurídico Integrado en CarbonVault ( `INPREABOGADO` ) | Certifica los 5 pilares legales nacionales: **SAREN/INTI, MINEC/ABRAE, INSAI/RUNSAI, LOTTT/OIT y SENIAT/Aduana**. | **Evidencia Legal Obligatoria del Artículo 3(b) y Artículo 2(40):** Ningún satélite puede certificar títulos de propiedad ni permisos laborales; lo certifica la Firma de Abogados. |

**aclaratoria Clave para Reuniones con Clientes: ¿La API de TRACES NT de la Unión Europea te dice si una finca está deforestada antes de enviar la declaración?**

**No.** El sistema oficial **TRACES NT de la Comisión Europea** funciona como una **ventanilla electrónica de declaración jurada aduanera**:

1. **Primero (Antes del Embarque — Lo que hace CarbonVault):** El exportador y el Escritorio Jurídico usan CarbonVault para auditar las coordenadas contra los satélites de **Global Forest Watch (WRI/UMD)** y la metodología **Whisp (FAO) / JRC de la Unión Europea**, segregar cualquier finca con alerta post-2020 y firmar el dictamen legal del Artículo 3(b).
2. **Segundo (Transmisión a TRACES NT — Lo que hace el Conector SOAP de CarbonVault):** Una vez comprobado que el contenedor solo lleva fincas limpias ( `LOW RISK` ), CarbonVault empaqueta todos los polígonos en `GeoJSON Base64` , los firma con el protocolo criptográfico europeo `WS-Security (PasswordDigest = Base64(SHA-1(Nonce + Created + ApiKey)))` y los transmite a **TRACES NT** para obtener el **Número de Referencia DDS** (ej. `26VE9481029481` ) que se entrega al agente aduanal en Hamburgo, Amberes, Róterdam o Valencia.
3. **Tercero (Fiscalización de las Autoridades Europeas):** Las Autoridades Competentes de cada país europeo (ej. *BLE* en Alemania, *MITECO* en España, *NVWA* en Países Bajos) toman ese GeoJSON cargado en TRACES NT y lo cruzan con los mismos mapas satelitales públicos (JRC / Landsat / Sentinel / GFW). Como CarbonVault ya auditó exactamente esos mismos píxeles antes de embarcar, el exportador tiene **garantía matemática de que su contenedor pasará la inspección europea sin multas ni rechazos**.

## 3. ¿Cómo Garantiza el Sistema la Medición Exacta entre los Puntos del Polígono (Entre Mojón y Mojón), el Área y el Rumbo?

Tanto la **Aplicación Móvil / APK de Técnicos de Campo (`/carbonvault-field`)** como la **Plataforma Web (`/carbonvault`)** utilizan **Geodesia Esférica y Elipsoidal sobre el datum oficial `WGS84 (EPSG:4326)`** exigido por el Artículo 9 del Reglamento (UE) 2023/1115:

### 1. Distancia Exacta entre Mojones ($V_i \to V_{i+1}$)

La Tierra no es plana; por eso no usamos geometría plana simple. Para calcular los metros exactos entre un poste/mojón $(\varphi_1, \lambda_1)$ y el siguiente $(\varphi_2, \lambda_2)$, la aplicación ejecuta la **Ecuación Geodésica de Haversine** con el radio ecuatorial oficial WGS84 ($R = 6,378,137.0\text{ metros}$):

```
Δφ = (lat2 - lat1) × π / 180 Δλ = (lng2 - lng1) × π / 180 a = sin²(Δφ/2) + cos(φ1)·cos(φ2)·sin²(Δλ/2) d = 2 · R · atan2(√a, √(1 - a)) [en metros]
```

Cada vez que el técnico marca un mojón, la tabla topográfica calcula al instante la longitud exacta del tramo en metros (ej. `148.4 m`) y el perímetro total acumulado.

### 2. Rumbo Azimutal Topográfico entre Mojones

En Venezuela y Latinoamérica, los títulos de propiedad del **SAREN** y del **INTI** describen los linderos por rumbos y distancias (ej. *"Del Mojón V1 al V2, 148 metros con rumbo Norte 84° Este"*). Nuestra aplicación calcula el **Azimut Geodésico** de cada tramo:

```
y = sin(Δλ) · cos(φ2) x = cos(φ1)·sin(φ2) - sin(φ1)·cos(φ2)·cos(Δλ) θ = (atan2(y, x) × 180 / π + 360) mod 360 Rumbo = Cuadrante Cardinal (N/S + grados + E/O)
```

Esto permite que el abogado del Escritorio Jurídico compare la tabla de mojones de la APK directamente con la escritura registrada en el SAREN.

### 3. Cálculo de Área Geodésica en Hectáreas ($\text{ha}$)

La superficie exacta de la parcela se calcula integrando el anillo cerrado de coordenadas sobre la proyección esférica WGS84 (Fórmula Geodésica de Gauss-L'Huilier):

- Entrega el área tanto en **metros cuadrados ($\text{m}^2$)** como en **hectáreas ($1\text{ ha} = 10,000\text{ m}^2$)**.
- Verifica automáticamente la regla del **Artículo 9.1(d) EUDR**: toda parcela mayor a $4\text{ hectáreas}$ (y en CarbonVault todas las parcelas por estándar de máxima seguridad) se exporta como **Polígono Completo Cerrado** y nunca como un punto aislado.

### 4. Blindaje contra Rechazos Técnicos de TRACES NT

El servidor europeo **TRACES NT** rechaza miles de archivos GeoJSON por errores geométricos. CarbonVault corrige automáticamente:

- **6 Decimales Exactos:** Redondea cada coordenada a 6 decimales (precisión numérica de $\approx 11\text{ centímetros}$ en el terreno).
- **Eliminación de Altitud 3D:** Garantiza pares puros 2D `[longitud, latitud]`.
- **Regla de la Mano Derecha (`RFC 7946`):** Ordena los mojones en sentido antihorario (*Counter-Clockwise*).
- **Detector de Auto-Intersección (`Bowtie`):** Alerta si dos linderos se cruzan en forma de "8".

## 4. ¿Por Qué NO Necesitas Comprar un Equipo GPS Topográfico Especializado (Garmin / RTK) para Trazar los Polígonos EUDR?

Muchos productores y exportadores creen erróneamente que necesitan comprar equipos GPS dedicados de \$1,500 a \$4,000 USD para cumplir con la Unión Europea. **Con CarbonVault NO necesitas ningún equipo GPS externo por tres razones técnicas y científicas contundentes:**

### Razón 1: La Resolución del Satélite Europeo es de 10m a 30m, mientras que el Chip GNSS de Cualquier Teléfono Android/iPhone Mide con Precisión de ±3m a ±4m (Sin Internet)

Todo teléfono inteligente moderno posee un **receptor de hardware Multi-GNSS** que recibe señales directas de radio de 4 constelaciones satelitales simultáneamente: **GPS (EE. UU.), Galileo (Unión Europea), GLONASS (Rusia) y BeiDou**.

- Este chip GNSS del teléfono funciona **100% sin señal celular 4G y sin Wi-Fi** en medio de las montañas de Mérida o en las haciendas de Barlovento.
- La precisión horizontal del teléfono es de **$\pm 3\text{ a }\pm 4.5\text{ metros}$**. Como los satélites que usa la Unión Europea para auditar la deforestación tienen píxeles de **$10\text{ metros} \times 10\text{ metros}$ (Sentinel-2)** y **$30\text{ metros} \times 30\text{ metros}$ (Landsat)**, una precisión de $\pm 3\text{ metros}$ del teléfono está **dentro de una fracción de un solo píxel satelital**.
- El Reglamento (UE) 2023/1115 en su Artículo 9 exige **6 cifras decimales en el archivo GeoJSON**, pero la propia Guía Oficial de la Comisión Europea especifica que los polígonos pueden capturarse con teléfonos móviles o trazarse sobre ortofotos satelitales.

### Razón 2: Trazado Directo en Oficina sobre Ortofotos Satelitales de Alta Resolución (Sin Siquiera Ir al Campo cuando se Conocen los Linderos)

¿Qué pasa si el productor o el abogado está en Caracas, Valencia o Mérida y necesita levantar el polígono de una hacienda sin viajar ese día?

- La plataforma web de CarbonVault integra el mapa satelital óptico de alta resolución **Esri World Imagery (resolución de $0.3\text{ m}$ a $0.5\text{ m}$ por píxel)** y la base catastral **OpenStreetMap Overpass**.
- En el mapa se ven con total nitidez los caminos internos, ríos, carreteras, galpones de secado y cambios de vegetación de la hacienda.
- Con el botón "✏️ **Dibujar Polígono de Finca**", el técnico o abogado hace clic sobre cada esquina visible de la hacienda en la pantalla y el sistema genera instantáneamente las coordenadas WGS84 con 6 decimales, listas para la auditoría satelital.

**Razón 3: Compatibilidad Híbrida con Planos Existentes (SAREN / INTI / KML / Garmin)**

Si la hacienda ya cuenta con un plano topográfico previo o coordenadas en su título del **INTI / SAREN**, nuestra APK de campo (`/carbonvault-field`) incluye la pestaña "⌨️ **Ingresar Coordenada Manual / Importar .KML o .GeoJSON**". El técnico solo digita los puntos del plano en papel o sube el archivo `.KML` de Google Earth y el sistema reconstruye todo el polígono automáticamente.

## 5. ¿Cómo Funciona el Sistema en General? (Flujo Completo entre la APK de Campo, la Web y el Escritorio Jurídico)

### 📱 1. En la Hacienda (APK de Técnicos de Campo)

El perito agrónomo abre la APK Android (o `/carbonvault-field`):

1. Camina las esquinas de la parcela y presiona "📍 **Capturar Mojón GPS Actual**" (o activa el modo automático cada 8 metros).
2. La app calcula en vivo el **Área (ha)**, **Perímetro (m)** y la tabla de **Rumbos y Distancias** entre mojones.
3. Llena la ficha del productor (Nombre, `RIF/Cédula`, `ID de Lote sin mezcla`, documento `SAREN/INTI`).
4. Descarga en el teléfono el archivo `.GeoJSON`, `.KML`, `.CSV` y el **Acta Topográfica en PDF**.

### 🛰️ 2. En el Servidor (Auditoría Satelital y Segregación)

Al subir el polígono (o un contenedor con 20 a 200 fincas) en `/carbonvault`:

1. El backend descarga y decodifica en vivo los tiles PNG de **Global Forest Watch (`v1.13`)**.
2. Cuenta cuántos píxeles tienen pérdida entre `2021-2025` vs `2001-2020`.
3. Aplica la matriz **Whisp (FAO)** y muestra el semáforo EUDR.
4. Si es un contenedor de cooperativa y una finca sale con alerta, el sistema **la segrega automáticamente** para salvar el contenedor.

### ⚖️ 3. En el Escritorio Jurídico (Dictamen Art. 3.b + TRACES NT)

El abogado socio revisa el expediente en `/carbonvault`:

1. Verifica y marca los **5 Pilares Legales de Venezuela (SAREN/INTI, MINEC, INSAI, LOTTT, SENIAT)**.
2. Coloca el nombre del Escritorio Jurídico, su `INPREABOGADO` y número de dictamen.
3. Transmite el expediente al conector **SOAP WS-Security de TRACES NT (UE)** para obtener el Número de Referencia DDS.
4. Emite el **Certificado PDF Conjunto (Satelital + Jurídico)** y archiva en la Bóveda de 5 Años (`2026-2031`).

### 📌 Resumen de Enlaces Oficiales del Sistema para Demostración y Operación

- **Plataforma Web Principal (Auditoría Satelital + Consolidación de Contenedores + Dictamen Jurídico Art. 3.b + TRACES NT):**
  https://novastack-cloud-systems.vercel.app/carbonvault
- **Instrumento Móvil para Peritos Topógrafos de Campo (Medición GPS de Mojones, Rumbos, Distancias y Descargas):**
  https://novastack-cloud-systems.vercel.app/carbonvault-field
- **Instalador Nativo Android (.APK) para Técnicos de Campo:**
  https://novastack-cloud-systems.vercel.app/downloads/CarbonVault_Satellite_Exchange.apk
- **Descarga Directa de este Manual Técnico-Jurídico en PDF:**
  https://novastack-cloud-systems.vercel.app/downloads/Manual_Tecnico_Juridico_CarbonVault_EUDR.pdf