

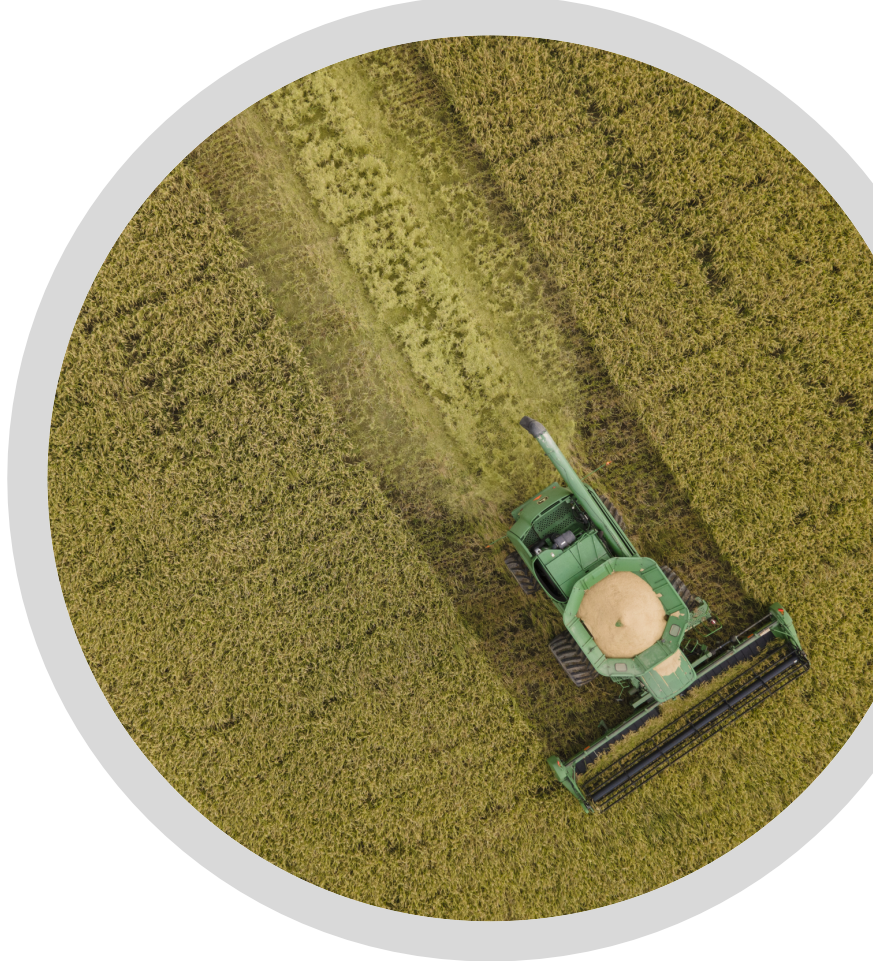


# El potencial de la trazabilidad: Una herramienta estratégica para la rendición de cuentas en la gestión de cadenas de suministro

REPENSANDO CAMINOS PRÁCTICOS HACIA UNA AGRICULTURA Y  
SISTEMAS ALIMENTARIOS MÁS SOSTENIBLES

# Introducción

Los impactos combinados del cambio climático, el crecimiento demográfico y la degradación ecológica están sometiendo a los sistemas alimentarios mundiales a una tensión sin precedentes<sup>1</sup>. La agricultura debe atravesar una transformación profunda. La era de las cadenas de suministro poco transparentes y sin trazabilidad está llegando rápidamente a su fin, impulsada por una realidad sencilla: las afirmaciones sobre sostenibilidad carecen de credibilidad cuando no pueden verificarse. La trazabilidad podría ayudar a cerrar esa brecha. Al establecer un vínculo verificable y basado en datos entre un producto y su recorrido desde el origen hasta el destino, los sistemas de trazabilidad constituyen un pilar fundamental de la gobernanza ambiental, social y económica moderna. Cuando se utiliza como una herramienta estratégica, en lugar de una solución independiente, la trazabilidad podría ayudar a permitir la verificación de los compromisos para evitar la deforestación y las prácticas regenerativas, fortalecen los mecanismos de rendición de cuentas a escala global, y contribuyen a proteger un futuro más resiliente y sostenible.



© RORY DOYLE

## Principales conclusiones

### 1. La trazabilidad es un facilitador, no una solución definitiva

Aunque la trazabilidad se convirtió en una herramienta fundamental para la gobernanza ambiental —por ejemplo, para hacer cumplir los compromisos de cero deforestación—, la tecnología de trazabilidad por sí sola no puede resolver la degradación ecológica<sup>2</sup>. La trazabilidad es únicamente una herramienta que proporciona la infraestructura necesaria para instrumentar acciones orientadas a la protección del medioambiente. En la actualidad, los marcos de trazabilidad funcionan principalmente como esquemas de certificación que reflejan una situación en un momento determinado, más que

como sistemas de seguimiento continuo e integral a lo largo de toda la cadena de suministro.

### 2. La tecnología está lista; los sistemas generales aún no

Si bien herramientas como el monitoreo satelital de alta resolución, los sensores del Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) y los registros basados en cadena de bloques ofrecen soluciones avanzadas y comercialmente disponibles para lograr una trazabilidad integral de punta a punta, estas iniciativas fracasan sistemáticamente a nivel socio-técnico. Por ejemplo, los marcos digitales sofisticados suelen fracasar debido a la falta de alfabetización digital entre los pequeños

productores, la limitada conectividad de internet en las zonas rurales y la fragmentación de los estándares de datos entre plataformas corporativas competidoras<sup>1</sup>. Además, la falta de articulación en las cadenas de suministro, los incentivos financieros desalineados y los severos problemas de interoperabilidad debilitan el sistema en su conjunto. Como resultado, incluso las infraestructuras digitales más avanzadas dejan de ser viables cuando dependen de datos de origen fragmentados, no verificados o falsificados.

### **3. La madurez varía considerablemente entre sectores**

La adopción y el grado de sofisticación de las tecnologías de trazabilidad difieren de manera significativa entre los distintos sectores agrícolas, en función de las exigencias del mercado y las presiones regulatorias. Las pesquerías se benefician de estructuras internacionales orientadas a combatir la pesca ilegal<sup>3</sup>. Los productos ganaderos y las materias primas asociadas a la deforestación incorporan cada vez más mecanismos de verificación espacial como respuesta a normativas estrictas en materia de deforestación (por ejemplo, el Reglamento de la Unión Europea sobre Productos Libres de Deforestación [EUDR, por sus siglas en inglés])<sup>4</sup>. Por el contrario, la agricultura regenerativa avanza con mucha más lentitud por la escasez de incentivos de mercado y de políticas públicas, así como por la complejidad que implica monitorear de forma continua los efectos ambientales.

### **4. La agregación de materias primas limita la trazabilidad**

La mezcla de materias primas procedentes de distintos orígenes —especialmente, en las cadenas de suministro de cultivos extensivos—, representa un desafío importante para la trazabilidad. A

medida que los productos provenientes de múltiples campos de origen se agrupan, resulta más difícil mantener el vínculo directo entre una materia prima y su lugar de origen, lo que dificulta la verificación de las prácticas de producción y los esfuerzos por garantizar la transparencia. Esta agregación también genera limitaciones prácticas. El seguimiento de insumos provenientes de numerosas fuentes puede dar lugar a conjuntos de datos amplios y dispersos, difíciles de gestionar y conciliar. Como consecuencia, los sistemas suelen orientarse hacia enfoques de balance de masas en lugar de realizar un seguimiento específico a nivel de producto<sup>5</sup>.

### **5. La cultura influye en la trazabilidad**

Las exigencias de transparencia absoluta suelen entrar en conflicto con las realidades culturales y económicas tanto de los grandes como de los pequeños productores. La obligación de compartir datos puede contravenir normas profundamente arraigadas al exponer activos personales, poner en riesgo ventajas competitivas o generar una profunda desconfianza hacia los mecanismos de supervisión. Las políticas de trazabilidad deben tener en cuenta estos matices culturales.

### **6. Para generar un impacto significativo se requiere la convergencia de tres elementos claves**

Para que la trazabilidad logre desvincular efectivamente la producción agrícola de la degradación ambiental, debe formar parte de un enfoque ecosistémico. Esto requiere una aplicación regulatoria adaptada a cada contexto, una demanda sostenida por parte de los consumidores, instrumentos financieros que generen incentivos adecuados y apoyo concreto para los agricultores sobre el terreno.

# Consideraciones claves para los responsables de formular políticas

## La trazabilidad frente a la transparencia

Aunque suelen utilizarse como sinónimos, la trazabilidad y la transparencia son conceptos relacionados, pero distintos.

- La trazabilidad vincula qué datos se recopilan (los Elementos Clave de Datos [KDE, por sus siglas en inglés]) y cuándo se recopilan esos datos (los Eventos Críticos de Seguimiento [CTE, por sus siglas en inglés]) para trazar el recorrido de un producto a lo largo de la cadena de suministro<sup>6</sup>.
- La transparencia se refiere a la visibilidad de los KDE —generalmente, en el nivel de producción—, sin necesidad de vincular esa información entre distintos actores o etapas.

En términos simples, la transparencia permite visibilizar prácticas o comportamientos, mientras que la trazabilidad consiste en realizar el seguimiento de distintos eventos, comportamientos y efectos a lo largo de las diferentes etapas de la cadena de suministro<sup>7</sup>. Esta distinción cobra especial importancia en las tareas de monitoreo ambiental cuando la trazabilidad es poco práctica por distintos motivos.



© NICK HALL

## Evaluar la eficacia de la trazabilidad

Aunque la trazabilidad suele considerarse el principal mecanismo para verificar la cadena de custodia, incluidos los efectos ambientales, su eficacia depende del tipo, la cantidad y la estructura de los datos recopilados. En contextos como la agricultura regenerativa, donde los datos son continuos, variables y específicos de cada contexto, la demanda sobre los sistemas de trazabilidad aumentan considerablemente. Esto se contrasta con el monitoreo de la deforestación, que suele basarse en indicadores más binarios y, por lo tanto, resulta comparativamente más sencillo de seguir. Como consecuencia, surgen interrogantes sobre si la trazabilidad de punta a punta constituye siempre el objetivo más viable o inmediato. Esto enfatiza la necesidad de distinguir entre trazabilidad y transparencia como enfoques relacionados, pero diferentes, para gestionar la información ambiental<sup>8</sup>.

# La trazabilidad en contexto

La trazabilidad alimentaria surgió originalmente —y, en gran medida, continúa haciéndolo— como respuesta a preocupaciones vinculadas con la seguridad alimentaria<sup>9</sup>. Los brotes de enfermedades transmitidas por los alimentos impulsaron el fortalecimiento de los requisitos nacionales e internacionales de trazabilidad para facilitar el retiro rápido de productos del mercado y determinar responsabilidades<sup>10</sup>. Sin embargo, a medida que entran en vigor regulaciones ambientales como el EUDR y el Acuerdo sobre Subvenciones a la

Pesca de la Organización Mundial del Comercio (WTOAFS, por sus siglas en inglés), los requisitos de trazabilidad amplían su alcance más allá de los marcos tradicionales de trazabilidad alimentaria y de sus KDE y CTE convencionales. El objetivo es verificar que los productos no estén asociados con efectos ambientales negativos, como la deforestación o la pesca ilegal, no declarada y no reglamentada (IUU, por sus siglas en inglés)<sup>11</sup>.

## La trazabilidad básica frente a la trazabilidad de punta a punta

Tabla 1: La trazabilidad básica frente a la trazabilidad de punta a punta\*

Característica	Trazabilidad básica	Trazabilidad de punta a punta
Alcance	Ubicación anterior/ubicación actual	Campo/procesadores/almacenamiento/tienda de comestibles
Enfoque de los datos	Ubicación y estado (¿qué es?, ¿dónde está?, ¿cuándo llegó?)	Identidad, origen, eventos y atributos (¿quién lo produjo?, ¿cómo se procesó?, ¿proviene de tierras deforestadas?, ¿qué prácticas regenerativas se asocian con el producto?)
Objetivo	Logística, gestión de inventarios y seguridad alimentaria	Cumplimiento ambiental

Las tecnologías de trazabilidad existen en todos los sectores —pesquerías, ganadería, productos vinculados a los bosques y cultivos agrícolas— y han alcanzado un grado de desarrollo relativamente avanzado. Sin embargo, la implementación de estas tecnologías avanza con mucha más lentitud, y su nivel de madurez varía considerablemente entre sectores. En términos generales, esto se debe a los siguientes factores:

- **Presión limitada por parte del mercado:** La demanda de los consumidores de productos libres de deforestación, prácticas para combatir la pesca

IUU y agricultura regenerativa es comparativamente menor que la demanda asociada a otros atributos, como los productos sin organismos modificados genéticamente (GMO, por sus siglas en inglés), los productos orgánicos o la carne de res alimentada a pasto<sup>12</sup>.

- **Brechas de interoperabilidad y de intercambio de datos:** Si bien existen estándares como el Global Dialogue on Seafood Traceability (GDST, por sus siglas en inglés), su adopción sigue siendo voluntaria. Además, las bases de datos nacionales

\* Tabla 1 basada en la tabla comparativa de TraceX.

e internacionales que contienen información integral sobre trazabilidad ambiental no existen o funcionan de manera aislada<sup>13</sup>. Por ejemplo, en Brasil, los comercializadores de materias primas suelen obtener más del 40% de sus productos de forma indirecta a través de intermediarios locales. Este abastecimiento indirecto constituye uno de los principales puntos ciegos para el seguimiento integral de los datos<sup>14</sup>.

- **Limitaciones tecnológicas para rastrear productos granulares (por ejemplo, granos de arroz) debido a la mezcla, combinación o molienda de productos:** La agregación de productos constituye un elemento fundamental de la gestión moderna de las cadenas de suministro y representa uno de los principales desafíos para la trazabilidad de punta a punta. Al evaluar requerimientos de trazabilidad, los responsables de formular políticas deben distinguir con claridad entre lo que resulta técnicamente posible y lo que puede implementarse de manera práctica a gran escala.





En el caso de cultivos extensivos altamente agregados, como el maíz, la soja o el trigo, es posible a nivel técnico lograr una trazabilidad exacta mediante la preservación de la identidad (PI), manteniendo los cultivos físicamente separados desde la explotación agrícola hasta el producto final<sup>15</sup>. Sin embargo, ampliar la aplicación de la PI resulta poco viable desde el punto de vista económico y logístico. Este enfoque requiere infraestructura específica para almacenamiento, transporte y procesamiento, lo que incrementa significativamente los costos. Además, la limitada demanda del mercado y los reducidos sobrepuestos que reciben las materias primas a granel totalmente trazables no justifican una adopción generalizada. Por ejemplo, en el sector cacaotero de África Occidental, los granos provienen de millones de pequeñas parcelas agrícolas dispersas y no registradas. Con frecuencia, intermediarios informales mezclan esos granos antes de que lleguen a una cooperativa o a una instalación de exportación, lo que vuelve casi imposible rastrear con precisión su origen sin incurrir en costos exorbitantes<sup>16</sup>.

Para verificar la trazabilidad en contextos donde existe agregación de productos, la industria recurre actualmente al balance de masas, un método que estima la proporción de un producto que proviene de una fuente verificada a partir de la mezcla de volúmenes presente en una instalación. A diferencia del ganado, que constituye una unidad individual y que se identifica con facilidad, los cultivos extensivos carecen de restricciones geográficas y de puntos críticos de procesamiento, por lo que su naturaleza granular y mezclada dificulta considerablemente su trazabilidad.



© DILEEP SS/TNC PHOTO CONTEST 2021

# Trazabilidad por sector

Table 2: Trazabilidad por sector			
Sector	Presión regulatoria	Implementación tecnológica estándar	Oportunidades futuras
 <b>Pesca</b>	Marcos regulatorios internacionales vinculantes, como el Acuerdo sobre Medidas del Estado Rector del Puerto de la FAO (PSMA, por sus siglas en inglés) y el Acuerdo sobre Subvenciones a la Pesca de la OMC (AFS, por sus siglas en inglés).	Son habituales los sistemas VMS y AIS, así como los esquemas de documentación de capturas en formato físico o digital.	Sistemas de monitoreo electrónico (EM, por sus siglas en inglés) impulsados por IA que transfieran datos a registros basados en cadenas de bloques.
 <b>Ganadería</b>	La presión regulatoria del EUDR influye en el acceso al mercado en función de las prácticas agrícolas.	Etiquetas RFID, monitoreo geoespacial y observación mediante drones.	Esquemas de datos interoperables y registros compartidos.
 <b>Materias primas vinculadas a los bosques</b>	La presión regulatoria del EUDR influye en el acceso al mercado en función de las prácticas agrícolas.	Registros impresos o digitales centrados en el seguimiento básico mediante códigos de barras y auditorías de balance de masas.	Mayor implementación de tecnologías de teledetección y de datos geoespaciales más detallados; registros o bases de datos automatizados.
 <b>Agricultura regenerativa</b>	No existen acuerdos sustanciales; las débiles fuerzas del mercado y las certificaciones privadas constituyen los únicos incentivos; los acuerdos sobre seguridad alimentaria sí ejercen una fuerte influencia.	Registros impresos o digitales centrados en el seguimiento básico mediante códigos de barras.	Sensores del IoT, imágenes multiespectrales, análisis isotópicos, ADN ambiental (eDNA, por sus siglas en inglés), entre otros, pueden sentar las bases para prácticas más transparentes en campos agrícolas y ganaderos.

## Pesca mundial: sistemas interoperables a gran escala<sup>‡</sup>

La pesca representa el sector con mayor grado de madurez en materia de cooperación internacional, impulsado por la necesidad urgente de combatir la pesca IUU y los abusos contra los derechos humanos en el mar.

- *Presión regulatoria:* alta. El sector se rige por marcos regulatorios internacionales vinculantes (por ejemplo, el Acuerdo sobre Medidas del Estado Rector del Puerto de la FAO y el WTOAFS). En 2026, sistemas como el portal CATCH de la Unión Europea convirtieron los certificados digitales de captura en un requisito obligatorio para operar en el mercado de las importaciones internacionales<sup>17</sup>.
- *Implementación tecnológica:* actualmente, se basa en un enfoque por capas. Las tecnologías básicas

<sup>‡</sup> Aunque este informe se centra en materias primas agrícolas, la pesca mundial constituye un antecedente fundamental. Debido a que las actividades pesqueras suelen desarrollarse en aguas internacionales, el

sector ya se vio obligado a construir mecanismos de colaboración multinacional y estructuras de trazabilidad que las materias primas agrícolas terrestres aún no han desarrollado.

incluyen los sistemas de seguimiento satelital cifrado (VMS) y seguimiento público de embarcaciones (AIS), junto con esquemas de documentación de capturas en formato impreso o electrónico<sup>18</sup>.

- *Oportunidades futuras:* mientras la documentación avanza hacia la digitalización, la próxima frontera consiste en lograr mecanismos de verificación de alta precisión. El monitoreo electrónico (EM), que utiliza cámaras a bordo y sistemas de visión artificial impulsados por IA, gana terreno como herramienta para proporcionar pruebas objetivas y transparentes de datos clave, como el volumen de captura y la identificación de especies. Posteriormente, estos datos pueden incorporarse a registros basados en cadena de bloques<sup>17, 19</sup>.

## Ganadería: cumplimiento estricto de los requisitos de deforestación

La trazabilidad ganadera, centrada principalmente en el ganado bovino, está dejando atrás los enfoques tradicionales de control sanitario y prevención de enfermedades para orientarse hacia una verificación rigurosa del uso de la tierra. Si bien desvincular la producción de carne vacuna de la deforestación ilegal continúa siendo una prioridad mundial, las diferencias regionales en la estructura de las cadenas de suministro y en los riesgos ecológicos determinan cómo se aplica la trazabilidad en cada contexto.

- *Presión regulatoria:* alta y en aumento. Impulsada por requisitos como la próxima entrada en implementación del EUDR, la atención internacional se ha centrado en resolver el punto ciego que representan los proveedores indirectos, mediante la exigencia de pruebas que demuestren que un animal no fue criado en tierras deforestadas en ninguna etapa de su ciclo de vida. Sin embargo, en regiones como Estados Unidos, Australia y Nueva Zelanda, las presiones regulatorias y del mercado se enfocan cada vez más en la conversión de pastizales nativos y la salud del suelo, más que en la pérdida de cobertura forestal tropical<sup>20</sup>.
- *Implementación tecnológica:* la trazabilidad del ganado se basa en etiquetas RFID, ampliamente

adoptadas en todo el mundo, aunque su implementación para el monitoreo ambiental presenta grandes variaciones. En América del Sur, el mapeo SIG y las bases de datos nacionales centralizadas (como el CAR de Brasil) suelen utilizarse para referirse al movimiento de animales vinculado a cambios ambientales detectados por satélite. En cambio, en Estados Unidos y Oceanía, los datos de trazabilidad suelen alojarse en sistemas privados y fragmentados, enfocados en métricas de producción y sanidad animal más que en el monitoreo ambiental integrado<sup>21</sup>.

- *Oportunidades futuras:* es necesario ampliar la implementación tecnológica en áreas prioritarias, como la Selva Maya. Aun con los avances tecnológicos, el lavado de ganado continúa siendo un problema generalizado. Esta práctica consiste en trasladar animales criados en tierras deforestadas ilegalmente a explotaciones que cumplen la normativa poco antes del sacrificio, con el fin de ocultar su impacto ambiental. Incluso en lugares con programas tecnológicos avanzados y marcos regulatorios sólidos —como el estado de Pará, en Brasil— esta sigue siendo una de las principales lagunas del sistema<sup>22, 23</sup>.

© KEVIN ARNOLD



## Materias primas vinculadas a los bosques: resolver el primer eslabón de la cadena

Aunque las materias primas vinculadas a los bosques suelen concentrarse geográficamente y constituyen uno de los principales impulsores de la deforestación a nivel mundial, su grado de trazabilidad varía considerablemente según la estructura de cada cadena de suministro. El aceite de palma alcanza altos niveles de trazabilidad gracias a limitaciones biológicas que generan puntos naturales de concentración del procesamiento en molinos locales registrados<sup>24</sup>. En cambio, materias primas como el cacao y el caucho enfrentan importantes obstáculos para la trazabilidad, a pesar de la concentración geográfica de los productores. Esto se debe a la extrema fragmentación de los pequeños productores, a las redes opacas de intermediarios y a las transformaciones físicas que experimentan los productos, las cuales dificultan la identificación de su origen.

- *Presión regulatoria:* alta y en aumento. Históricamente, la madera estuvo sujeta a estrictas regulaciones de trazabilidad a nivel de unidad individual (por ejemplo, la Ley Lacey<sup>§</sup>), mientras que el cacao enfrenta actualmente una fuerte presión derivada del EUDR para demostrar que sus áreas de abastecimiento no se solapan con áreas de parques nacionales. Por su parte, el caucho, que antes estaba menos expuesto a las presiones del mercado, comienza a quedar incluido en estos amplios requisitos internacionales relacionados con la deforestación. En los tres casos, los organismos reguladores exigen una mayor visibilidad sobre redes de abastecimiento que hoy resultan poco transparentes.
- *Implementación tecnológica:* la viabilidad tecnológica difiere significativamente entre estas materias primas. En el caso de la madera sin procesar, resulta perfectamente viable realizar un seguimiento al nivel de unidad individual de

<sup>§</sup> Promulgada en 1900 y modificada de manera significativa en 2008, la Ley Lacey de Estados Unidos es una ley de conservación que prohíbe la importación, exportación y comercialización de fauna silvestre, peces y plantas obtenidos de manera ilegal. La enmienda de 2008 se centró específicamente en la tala ilegal al exigir que los importadores de madera

troncos de alto valor desde el punto de tala hasta el puerto mediante códigos de barras o etiquetas RFID. Por el contrario, en el caso del cacao, producido principalmente por millones de pequeños agricultores que operan en economías informales, las herramientas digitales enfrentan importantes barreras para su adopción<sup>16</sup>. Además, en estos sectores, las materias primas —como los granos de cacao o el caucho en bloque— se agregan y mezclan con productos procedentes de cientos de microparcels registradas y no registradas antes incluso de llegar a la primera instalación de procesamiento.

© RAFAEL ARAÚJO



y productos derivados declararan formalmente la especie y el país de origen. De este modo, estableció uno de los primeros marcos jurídicos del mundo para la trazabilidad internacional de la madera.

- *Oportunidades futuras*: la principal brecha que persiste en estas cadenas de suministro radica en la agregación realizada por intermediarios y en el lavado físico de productos. Para escalar el cumplimiento de manera realista, las políticas deben desvincular la transparencia de la trazabilidad y establecer consecuencias claras ante los incumplimientos. En lugar de exigir el estándar poco viable de mantener una cadena de custodia física ininterrumpida a través de redes informales e instalaciones de aserrado, las políticas deberían exigir niveles básicos de transparencia en el punto de producción —por ejemplo, mediante la creación de identidades digitales y el mapeo poligonal de los pequeños productores— combinados con auditorías rigurosas de balance de masas respaldadas por tecnología en agregadores regionales y fábricas.

## Agricultura regenerativa: una frontera aún incipiente

La agricultura regenerativa —que incluye tanto la ganadería regenerativa como las prácticas regenerativas aplicadas a todos los cultivos, incluidas las materias primas vinculadas a los bosques— constituye actualmente el sector menos desarrollado. Esto se debe a que los sistemas de trazabilidad siguen diseñados principalmente para responder a requisitos de seguridad alimentaria (como el cumplimiento de las normas de la Administración de Alimentos y

Medicamentos [FDA, por sus siglas en inglés] orientadas a facilitar retiros rápidos de productos) y no para verificar efectos de sostenibilidad de extremo a extremo<sup>25</sup>.

- *Presión regulatoria*: baja. Actualmente, los incentivos de mercado dependen sobre todo de créditos de carbono voluntarios y certificaciones regenerativas privadas de alcance limitado, más que de mandatos gubernamentales obligatorios<sup>26</sup>.
- *Implementación tecnológica*: la adopción de herramientas avanzadas sigue siendo limitada. La mayor parte de los sistemas de trazabilidad todavía se basa en registros impresos de baja tecnología o en hojas de cálculo digitales básicas utilizadas para auditorías simples de certificación en seguridad alimentaria, sin relación directa con la agricultura regenerativa. La agregación de productos y la falta de definiciones estandarizadas para las prácticas regenerativas añaden complejidades adicionales a la trazabilidad<sup>27, 28, 29</sup>.
- *Oportunidades futuras*: para lograr una verdadera “verificación basada en prácticas”, el sector necesita incentivos políticos y económicos que impulsen la implementación de tecnologías ya disponibles capaces de medir prácticas y efectos regenerativos. Herramientas como los sensores de IoT, las imágenes multiespectrales, los análisis isotópicos y el eDNA, entre otras, pueden sentar las bases para prácticas más transparentes en explotaciones agrícolas y ganaderas<sup>30, 31, 32, 33</sup>.

## Recomendaciones normativas para escalar la implementación de tecnologías de trazabilidad en los sistemas agroalimentarios

Ampliar la trazabilidad ambiental requiere que los gobiernos, los actores de la industria y otros socios integren estándares, incentivos y tecnologías en los sistemas de producción de alimentos y materias primas. Para garantizar una adopción exitosa, los responsables de formular políticas deben evitar exigir

un cumplimiento inmediato de punta a punta y, en su lugar, adoptar un enfoque gradual: primero establecer las bases mediante la transparencia y la estandarización, y posteriormente avanzar hacia una ampliación a largo plazo y una aplicación rigurosa de las normas.

## Fase 1: acciones inmediatas (establecer las bases)

- *Priorizar la transparencia a nivel de parcela de producción antes de exigir una trazabilidad completa:* en el caso de materias primas agregadas (por ejemplo, maíz, trigo, granos de cacao o caucho), la integración completa de la cadena de suministro sigue siendo demasiado costosa y técnicamente compleja. Las políticas deberían centrarse primero en garantizar que los datos ambientales claves sean visibles y verificables a nivel de la parcela de producción en ubicaciones prioritarias, mediante reportes de campo, drones o sensores instalados sobre el terreno. Esto permite realizar verificaciones rápidas y sienta las bases para una futura trazabilidad<sup>31</sup>.
- *Establecer definiciones y estándares específicos para cada región:* los gobiernos deberían desarrollar conjuntamente con agricultores e investigadores criterios regenerativos adaptados a los contextos ecológicos y productivos locales. Al mismo tiempo, deben exigir Elementos Clave de Datos (KDE, por sus siglas en inglés), Eventos Críticos de Seguimiento (CTE, por sus siglas en inglés) y protocolos de reporte digital estandarizados en todos los sectores para garantizar la interoperabilidad entre futuras plataformas de auditoría.
- *Proporcionar incentivos específicos y apoyo para la implementación:* los incentivos financieros (por ejemplo, préstamos concesionales y subvenciones) deberían vincularse explícitamente a la adopción de tecnologías de trazabilidad y a la verificación de efectos regenerativos, como el secuestro de carbono en el suelo o el uso de tierras libres de deforestación. Vincular los subsidios a resultados ambientales medibles puede ayudar a compensar los costos iniciales asociados con los equipos de monitoreo y las posibles disminuciones temporales del rendimiento durante la transición hacia prácticas regenerativas<sup>34</sup>. Estas iniciativas deberían complementarse con centros regionales de apoyo que ofrezcan capacitación técnica práctica y orientación a los productores que adopten nuevas prácticas.

- *Promover mecanismos de cumplimiento inclusivos para los pequeños productores:* para evitar su exclusión del mercado, los requisitos de reporte deben tener en cuenta las limitadas capacidades técnicas de los productores a pequeña escala. Las herramientas simplificadas de generación de informes, los modelos cooperativos de intercambio de datos y las auditorías a nivel grupal reducen la carga administrativa y garantizan una participación equitativa<sup>35</sup>.
- *Armonizar las regulaciones entre los mercados que demandan:* los países consumidores deben acelerar la implementación de políticas como el EUDR y, al mismo tiempo, fomentar la cooperación internacional. La armonización de los requisitos globales de trazabilidad ayudará a cerrar vacíos legales, promover el intercambio de buenas prácticas y garantizar vías de cumplimiento justas y equitativas para los pequeños productores.

## Fase 2: metas a largo plazo (escalabilidad y aplicación)

- *Centralizar las bases de datos de trazabilidad bajo gestión gubernamental:* para reducir la fricción administrativa y hacer cumplir los controles de calidad, los gobiernos deberían llegar a administrar y mantener bases de datos nacionales o regionales de trazabilidad interoperables —similares al registro ganadero de Uruguay— y, así, trasladar la carga de gestión de datos fuera del ámbito de los productores individuales<sup>36</sup>.
- *Reducir el riesgo de las tecnologías de frontera mediante inversión pública:* los gobiernos cuentan con antecedentes sólidos de financiamiento de tecnologías de alto riesgo para catalizar la innovación del sector privado (por ejemplo, los programas del Departamento de Energía de Estados Unidos). Las instituciones públicas deben subsidiar programas piloto para herramientas de frontera como el eDNA, la detección avanzada con drones<sup>34</sup> y los registros de cadena de bloques, a fin de cerrar la brecha entre lo que resulta técnicamente posible y lo que puede implementarse en la práctica en cuanto a materias primas agregadas.

- *Ampliar el acceso a soluciones comerciales existentes con alto potencial:* las plataformas satelitales compartidas y los datos geoespaciales de acceso abierto deberían ampliarse para que la verificación del uso de la tierra sea asequible. En las cadenas de suministro discretas, debería fortalecerse el seguimiento a nivel de unidad (como las etiquetas RFID para el ganado o el monitoreo electrónico impulsado por IA para las pesquerías) e integrarse con análisis basados en la nube para generar alertas de cumplimiento en tiempo real.
- *Adoptar regulaciones orientadas a la verificación y que exijan el uso de tecnología:* en algún momento, debe eliminarse gradualmente el reporte manual mediante registros. Las regulaciones de importación, las políticas de adquisiciones y los estándares de abastecimiento de los minoristas deberían tomar como modelo estructuras como el EUDR, exigir legalmente el uso de tecnologías de monitoreo verificables e incorporar requisitos de trazabilidad directamente en las condiciones de acceso a los mercados globales.

## Interpretaciones culturales de la privacidad de los datos

La trazabilidad de punta a punta puede entrar en contradicción con interpretaciones locales y culturales de la privacidad y la propiedad de los datos. Para muchos productores, los datos agrícolas —como los límites de los establecimientos, el tamaño del rebaño, las métricas de rendimiento y las prácticas de gestión— no son meramente operativos, sino que están profundamente ligados a los derechos de propiedad y la seguridad económica. En regiones como Estados Unidos, los ganaderos independientes suelen mirar con mucho escepticismo las bases de datos ambientales centralizadas y gestionadas por el gobierno, ya que las interpretan como un paso previo a un exceso regulatorio o a una vigilancia punitiva<sup>37</sup>. Por el contrario,

en el Sur Global, los pequeños productores marginados pueden temer que la trazabilidad de alta precisión se utilice como herramienta por parte de actores estatales o corporativos para facilitar sanciones o justificar su exclusión de los mercados. Los responsables de formular políticas deben reconocer que la privacidad de los datos en la agricultura no es simplemente un obstáculo técnico que pueda resolverse con el cifrado. Es una cuestión fundamental de confianza. Para que las iniciativas de trazabilidad sean sostenibles y justas, es importante garantizar que los procesos reflejen las preferencias y los valores locales relacionados con la propiedad y la seguridad de los datos.

## Conclusión

La trazabilidad constituye una herramienta fundamental para fortalecer la responsabilidad ambiental en los sistemas agroalimentarios globales. Cuando se implementa de manera eficaz, permite que gobiernos, propietarios de tierras y consumidores verifiquen cadenas de suministro libres de deforestación, respalden prácticas regenerativas y alineen la producción con objetivos de sostenibilidad. Sin embargo, sus limitaciones no son principalmente tecnológicas, sino estructurales. Estas limitaciones

tienen su origen en cadenas de suministro fragmentadas, incentivos desalineados y la complejidad propia de los sistemas de producción del mundo real.

Para aprovechar todo su potencial, los responsables de formular políticas deben considerar la trazabilidad como una herramienta estratégica dentro de un marco más amplio de gobernanza, y no como una solución independiente. Esto requiere un enfoque gradual y pragmático: priorizar la transparencia a nivel de la

parcela agrícola, establecer estándares claros y pertinentes para cada región, e invertir en los sistemas y el apoyo necesarios para favorecer una adopción generalizada. Con el tiempo, estas bases pueden impulsar una mayor interoperabilidad, mecanismos de aplicación más sólidos y una trazabilidad más integral en todos los sectores.

Lograr un impacto significativo depende de la alineación entre los requisitos regulatorios, los incentivos de mercado y el apoyo a los productores. Sin esa alineación, los sistemas de trazabilidad corren el riesgo de alcanzar una adopción limitada, generar datos de calidad inconsistente y provocar exclusiones no deseadas, especialmente, entre productores pequeños y aquellos que comercializan en contextos informales o con recursos limitados.

A medida que las regulaciones ambientales continúan ampliándose y transformando los mercados globales, la trazabilidad influirá cada vez más tanto en el cumplimiento normativo como en la competitividad. Los responsables de formular políticas tienen hoy una oportunidad decisiva para definir su rol y garantizar que estos sistemas no solo sean técnicamente sólidos, sino también equitativos, escalables y acordes con la realidad operativa. Cuando se integra de manera eficaz, la trazabilidad puede convertirse en una poderosa herramienta para impulsar sistemas agrícolas más sostenibles y responsables.

# FUENTES

---

- 1 World Economic Forum (WEF), *Innovation with a Purpose: Traceability in Food Value Chains* (Geneva: World Economic Forum, 2019).
- 2 E. F. Lambin et al., "The Role of Supply-Chain Initiatives in Reducing Deforestation," *Nature Climate Change* 8 (2018): 109-116, <https://doi.org/10.1038/s41558-017-0061-1>.
- 3 Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), *Agreement on Port State Measures (PSMA) to Prevent, Deter and Eliminate Illegal, Unreported and Unregulated Fishing* (Rome: FAO, 2016).
- 4 European Parliament and Council, "Regulation (EU) 2023/1115 of the European Parliament and of the Council on the Making Available on the Union Market and the Export from the Union of Certain Commodities and Products Associated with Deforestation and Forest Degradation," *Official Journal of the European Union* L 150 (2023): 206-247.
- 5 A. C. Tagarakis et al., "Bridging the Gaps in Traceability Systems for Fresh Produce Supply Chains: Overview and Development of an Integrated IoT-Based System," *Applied Sciences* 11, no. 16 (2021): 7596, <https://doi.org/10.3390/app11167596>.
- 6 U.S. Food and Drug Administration (FDA), *FSMA Rule for Food Traceability: Critical Tracking Events and Key Data Elements* (Silver Spring, MD: FDA, 2024), <https://www.fda.gov/files/food/published/FSMA-Rule-for-Food-Traceability-2024-0520-CTEs-KDEs.pdf>.
- 7 Center for Food Demand Analysis and Sustainability (CFDAS), *The Future of Traceability and Transparency in the Food System*, white paper (West Lafayette, IN: Purdue University, 2023).
- 8 T. A. Gardner et al., "Transparency and Sustainability in Global Commodity Supply Chains," *World Development* 121 (2019): 163-177, <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.05.025>.
- 9 P. Olsen and M. Borit, "The Components of a Food Traceability System," *Trends in Food Science & Technology* 77 (2018): 143-149, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.004>.
- 10 U.S. Food and Drug Administration (FDA), *Food Safety Modernization Act (FSMA) Final Rule on Requirements for Additional Traceability Records for Certain Foods* (Silver Spring, MD: FDA, 2022). See also EU General Food Law, <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2002/178/oj>; China's Food Safety Law, [https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/report/downloadreportbyfilename?filename=amended%20food%20safety%20law%20of%20china\\_beijing\\_china%20-%20peoples%20republic%20of\\_5-18-2015.pdf](https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/report/downloadreportbyfilename?filename=amended%20food%20safety%20law%20of%20china_beijing_china%20-%20peoples%20republic%20of_5-18-2015.pdf); and Canada's Safe Food for Canadians Regulations, <https://inspection.canada.ca/en/food-safety-industry/traceability/traceability>.
- 11 World Trade Organization (WTO), *Agreement on Fisheries Subsidies* (Geneva: WTO, 2022).
- 12 S. Shaikh, A. P. Yamim, and C. O. C. Werle, "Are All-Encompassing Better Than One-Trait Sustainable Labels? The Influence of Eco-Score and Organic Labels on Food Perception and Willingness to Pay," *Appetite* 203 (2024): 107670, <https://doi.org/10.1016/j.appet.2024.107670>.
- 13 Global Dialogue on Seafood Traceability (GDST), *GDST Standards and Guidelines for Interoperable Seafood Traceability Systems* (Washington, DC: GDST, 2023).
- 14 E. K. H. J. zu Ermgassen et al., "Addressing Indirect Sourcing in Zero Deforestation Commodity Supply Chains," *Science Advances* 8, no. 17 (2022): eabn3132, <https://doi.org/10.1126/sciadv.abn3132>.
- 15 U.S. Department of Agriculture (USDA), *Guidance Framework: Identity Preserved Farmers* (Washington, DC: USDA, 2016), <https://www.usda.gov/sites/default/files/documents/guidance-framework-identity-preserved-farmers-june-2016.pdf>.
- 16 Trase, *Smallholder Cocoa Farmers Need Support as EUDR Compliance Nears* (Trase, 2024).
- 17 Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024* (Rome: FAO, 2024).
- 18 Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), *Seafood Traceability for Fisheries Compliance: Country-Level Support for Catch Documentation Schemes* (Rome: FAO, 2017), <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/0466ac36-4d7d-45da-adb9-997fd717f18a/content>.
- 19 The Nature Conservancy and productOps, *Fisheries Report: On the Edge* (The Nature Conservancy, 2024), [https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/Edge-based-risk-assessment\\_Final6-28\\_digital.pdf](https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/Edge-based-risk-assessment_Final6-28_digital.pdf).
- 20 World Wildlife Fund (WWF), *Plowprint Report* (Washington, DC: WWF, 2024).
- 21 V. Dedeoglu, R. Jurdak, and A. Dorri, *Global Scan of Technologies and Systems Enabling Data Capture and Transfer Across Red Meat Supply Chains: Final Report* (North Sydney: Meat & Livestock Australia, 2020).
- 22 M. Candino et al., "Protected Areas in the Brazilian Amazon Threatened by Cycles of Property Registration, Cattle Ranching, and Deforestation," *Land* 13, no. 7 (2024): 901, <https://doi.org/10.3390/land13070901>.
- 23 B. Slob, G. Rijk, and M. Piotrowski, *JBS, Marfrig, and Minerva: Material Financial Risk from Deforestation in Beef Supply Chains* (Chain Reaction Research, 2020).
- 24 M. Eggen et al., "Smallholder Participation in Zero-Deforestation Supply Chain Initiatives in the Indonesian Palm Oil Sector: Challenges, Opportunities, and Limitations," *Elementa: Science of the Anthropocene* 12 (2024), <https://doi.org/10.1525/elementa.2023.00099>.
- 25 U.S. Food and Drug Administration (FDA), *Food Safety Modernization Act (FSMA) Final Rule on Requirements for Additional Traceability Records for Certain Foods* (Silver Spring, MD: FDA, 2022).
- 26 World Economic Forum (WEF), *100 Million Farmers: Breakthrough Models for Financing a Sustainability Transition* (Geneva: World Economic Forum, 2024).
- 27 A. Caveen, M. Archer, and M. Platt, *The Impact of Improved Traceability on the Safety of Food* (Belfast: RS Standards; London: Lloyd's Register Foundation, 2021), [https://thegdst.org/wp-content/uploads/2024/01/impact\\_of\\_improved\\_traceability\\_on\\_the\\_safety\\_of\\_food\\_full\\_report.pdf](https://thegdst.org/wp-content/uploads/2024/01/impact_of_improved_traceability_on_the_safety_of_food_full_report.pdf).
- 28 World Bank Group, *Digital Technology for Traceability in Vietnam's Fruit and Vegetable Value Chains* (Washington, DC: World Bank, 2022), [https://www.wbqkqgtf.org/sites/kgqtf/files/publications/Digital%20Technology%20for%20Traceability\\_0.pdf](https://www.wbqkqgtf.org/sites/kgqtf/files/publications/Digital%20Technology%20for%20Traceability_0.pdf).
- 29 S. Vijayakumar et al., "Opportunities, Challenges, and Interventions for Agriculture 4.0 Adoption," *Discover Food* 5 (2025): 265, <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00576-3>.

- 
- 30 S. Wu et al., "Environmental DNA (eDNA) Technology in Biodiversity and Ecosystem Health Research: Advances and Prospects," *Ecology and Evolution* 16, no. 1(2026): e72891, <https://doi.org/10.1002/ece3.72891>.
  - 31 V. S. C. D. Reddy et al., "Drone-Based Multispectral Imaging for Precision Monitoring of Crop Growth Variables," *Biology and Life Sciences Forum* 41, no. 1 (2025): 10, <https://doi.org/10.3390/blsf2025041010>.
  - 32 S. Mansoor et al., "Integration of Smart Sensors and IoT in Precision Agriculture: Trends, Challenges and Future Perspectives," *Frontiers in Plant Science* 16 (2025): 1587869, <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1587869>.
  - 33 J. Lozano-Castellón et al., "Proven Traceability Strategies Using Chemometrics for Organic Food Authenticity," *Trends in Food Science & Technology* 147 (2024): 104430, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104430>.
  - 34 V. Piñeiro et al., "A Scoping Review on Incentives for Adoption of Sustainable Agricultural Practices and Their Outcomes," *Nature Sustainability* 3 (2020): 809-820.
  - 35 Stockholm Environment Institute (SEI), *Finding a Place for Smallholder Farmers in EU Deforestation Regulation* (Stockholm: SEI, 2024).
  - 36 A. Rius, *Mandatory Livestock Traceability as a Catalyst for Knowledge Intensive Services in Uruguay* (Washington, DC: Inter-American Development Bank, 2015), <https://doi.org/10.18235/00000005>.
  - 37 R. Skaggs, "The U.S. National Animal Identification System (NAIS) & the U.S. Beef-Cattle Sector: A Post-Mortem Analysis of NAIS," in *Deploying RFID: Challenges, Solutions, and Open Issues* (Rijeka: InTech, 2011), <https://doi.org/10.5772/16581>.

## CITA SUGERIDA

The Nature Conservancy. *El potencial de la trazabilidad: Una herramienta estratégica para la rendición de cuentas en la gestión de cadenas de suministro*. Inform de política N.º 6. Arlington, VA: The Nature Conservancy, Julio 2026.

## AGRADECIMIENTOS

**Autores:** Aurora Zaytoun, Andrew Gorovoy

**Revisores:** Ginya Truitt Nakata, Horacio Rodríguez Vázquez, Dong Ke

**Colaboradores:** Robert Manes, Nancy Labbe, Hazel Wong, Ben Gilmer, Ryan Stockwell, Melissa Brito, Candace Teems, Guilherme Prezotti, Andrés Prieto, Rebekah Mawson, Alejandra Castro, Martha Rogers, Dong Ke, Leandro Baumgarten, McKenna Hayes, Annie Broad



© ANDREW KORNYLAK