


# Beneficios del smart contract y blockchain en la trazabilidad de la cadena de suministro agroindustrial del banano\*

Benefits of smart contract and blockchain in the traceability for the banana agroindustrial supply chain


Isabel Cristina Arango Palacio<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Colombia.

Doctora en Administración Gerencial (Universidad Benito Juárez, Méjico 2023) y Magíster en Logística Integral (Universidad de Antioquia 2015). Actualmente se desempeña como docente e investigadora (Investigadora Junior Minciencias), Institución Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, institución donde lidera el grupo de investigación SILOGIC. El presente artículo es resultado del proyecto de investigación en formación realizado en el 2018, ejecutado bajo la filiación del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Correo: [isabelarango@elpoli.edu.co](mailto:isabelarango@elpoli.edu.co).  0000-0003-1721-7591.

## Citar como:

Arango Palacio, I. C. (2026). Beneficios del smart contract y blockchain en la trazabilidad de la cadena de suministro agroindustrial del banano. *CITAS*, 12(1), 12-23.

 <https://doi.org/10.15332/24224529.12133>

Recibido: xxxxxx

Aceptado: 02/09/2026



## Resumen

La gestión eficiente de cadenas de suministro globales exige a las empresas tomar decisiones rápidas y monitorearlas de forma precisa. El seguimiento de actividades y procesos logísticos bajo tecnologías como *blockchain* permite compartir información en tiempo real y de forma descentralizada entre diferentes empresas, eliminando los intermediarios. El sector agroindustrial puede beneficiarse del desarrollo de *smart contracts* —contratos inteligentes— y *blockchain* —cadena de bloques— para tomar decisiones con información en tiempo real y realizar su seguimiento, como respuesta a una necesidad crítica. Este artículo presenta un análisis del

\*Artículo de investigación. Estudio de campo región Urabá antioqueño (2018) proyecto de investigación en formación, desarrollo de software con blockchain y smart contract por Ingeniería Informática requerimiento del Semillero de Investigación en Logística SILOGIC del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid.

impacto de usar tecnologías como *smart contract* y *blockchain* para la trazabilidad de los procesos en la cadena de suministro. La integridad en la información que ofrecen tecnologías como las mencionadas apoya la toma de decisiones en mercados globalizados que tienen procesos dependientes de otros sistemas y se encuentran bajo la incertidumbre de la gestión global.

**Palabras clave:**

blockchain, confianza, inmutabilidad, smart contract, transacciones, trazabilidad.

**Abstract**

Efficient management of global supply chains requires companies to make quick decisions and monitor them accurately. Tracking logistics activities and processes using technologies such as Blockchain provides decentralized, real-time information sharing among several different companies, eliminating intermediaries. This article presents an analysis of the impact of using Smart Contracts and Blockchain for process traceability in the supply chain. The agribusiness sector can benefit from the development of smart contracts and blockchain to make decisions based on real-time information, making the tracking of these decisions a response to a critical need. The integrity of the information provided by the use of some technologies supports decision-making in globalized markets, with processes dependent on other systems, and under the uncertainty of global management.

**Keywords:**

blockchain, trust, immutability, smart contract, transactions, traceability

**Introducción**

Aunque los desafíos logísticos en la cadena de suministro del banano en Colombia, relacionados con la infraestructura y la seguridad, son persistentes, la búsqueda de soluciones tecnológicas para garantizar la trazabilidad en la agroindustria no es nueva. Desde hace más de una década, la academia ha desarrollado marcos para mejorar el seguimiento en cadenas de suministro complejas, como la de granos a granel ([Thakur & Hurburgh, 2009](#)) o la del chocolate, donde la eficiencia en la trazabilidad impacta directamente en la retirada de productos y la eficiencia productiva ([Saltini & Akkerman, 2012](#)).

Recientemente, la tecnología *blockchain* ha surgido como una solución prometedora a estos problemas de confianza y visibilidad. Diferentes investigadores han propuesto sistemas basados en esta tecnología para el seguimiento de la cadena agroalimentaria en China ([Tian, 2016](#)) y para asegurar la trazabilidad en el competitivo mercado alimentario europeo ([Baralla et al., 2019](#)). A pesar de estos avances internacionales, la aplicación de estas tecnologías para abordar las vulnerabilidades específicas o chokepoints ([Alimahomed-Wilson & Ness, 2018](#)) de la cadena de suministro del banano colombiano aún representa un área de estudio poco explorada. Este artículo busca aportar al cierre de esa brecha mediante el análisis de los beneficios concretos de implementar un sistema de trazabilidad basado en smart contracts y blockchain en este contexto particular.

**Contexto**

El panorama logístico en Colombia enfrenta desafíos estructurales que limitan su eficiencia, según revelan los resultados de la más reciente Encuesta Nacional Logística del año 2022 (ENL) ([Departamento Nacional de Planeación \(DNP\) & Ministerio de Transporte, 2023](#)). A pesar de registrarse una mejora marginal en ciertos indicadores, el bajo cumplimiento en las entregas a tiempo (On-Time Delivery) se consolida como el factor de mayor criticidad para las cadenas de suministro del país. Adicionalmente, se identifican deficiencias significativas en la gestión documental, una alta incidencia de daños a la mercancía y persistentes problemas asociados al transporte.

Dentro de este marco, el sector agroindustrial evidencia un desempeño particularmente desfavorable, con

indicadores que se sitúan por debajo del promedio nacional, lo cual compromete de manera directa la competitividad y la rentabilidad de sus empresas en mercados globales.

## Base de la investigación

### Cadena de suministro

La cadena de suministro es la expresión que define la secuencia de agentes, funciones y actividades que intervienen en el flujo de bienes, servicios y de información relacionada entre dos o más puntos hasta entregar al consumidor final ([Departamento Nacional de Planeación \(DNP\), 2025](#)). La secuencia de agentes es denominada red, la cual cuenta con diferentes empresas y sus interacciones deben resultar eficientes para mejorar la competitividad.

### *Blockchain*

Una red *peer-to-peer* (P2P), o red de igual a igual, es un sistema descentralizado en el que los dispositivos conectados (nodos) se comunican directamente entre sí, sin necesidad de un servidor central. En este modelo, cada nodo actúa como cliente y servidor al mismo tiempo, lo que le permite compartir recursos, como archivos, datos o capacidad de procesamiento, de manera directa con otros nodos de la red. Esto la diferencia del modelo tradicional cliente-servidor, que requiere de un servidor central para gestionar y distribuir la información ([Nakamoto, 2008](#)).

Las redes P2P son fundamentales en tecnologías como *blockchain*, ya que su naturaleza descentralizada y su resiliencia las hacen ideales para garantizar la seguridad, la inmutabilidad y la transparencia. Tian ([2016](#)) propuso un sistema de trazabilidad de la cadena de suministro en China, que utiliza la tecnología *blockchain* y la tecnología RFID para identificar, rastrear y monitorear toda la cadena de suministro en una plataforma transparente y rastreable, disponible para todos los miembros del sistema.

La tecnología *blockchain* fue usada por desarrolladores y gerentes que identificaron que una cadena de suministro también puede ser el entorno ideal para tener la trazabilidad en una computadora descentralizada. Esto llevó a la introducción de Ethereum blockchain, una red cuyos nodos también pueden ejecutar programas completos llamados *smart contracts*, que son programas informáticos generales, aunque con algunas características específicas ([Marchesi et al., 2020](#)).

### *Smart contract*

Con el desarrollo del blockchain, el smart contract —creado antes de 1990— se construye como un programa informático que se ejecuta en nodos blockchain, se pueden realizar entre partes desconocidas sin identificar y sin la participación de un tercero como mediador entre las partes. La función de un smart contract es heredar las propiedades del blockchain, incluyendo registros inmutables de datos y permitiendo mitigar los posibles errores; esto facilita, digitalmente y cuando se cumplen ciertas condiciones, la negociación directa entre usuarios en términos contractuales ([Hu et al., 2019](#)).

### Trazabilidad

La trazabilidad como definición conceptual se refiere al proceso mediante el cual se realiza un monitoreo con el fin de garantizar la confiabilidad y calidad de los productos o servicios. Los autores Thakur & Hurburgh ([2009](#)) modelan el intercambio de información entre actores en la cadena de suministro de granos; por su parte, Saltini & Akkerman ([2012](#)) simulan diferentes escenarios para evaluar el impacto de la profundidad y la estrategia de un sistema de trazabilidad en la eficiencia de la producción y el retiro del producto.

## *Chokepoint*

Un chokepoint en la cadena de suministro es un punto de vulnerabilidad crítica donde el flujo de bienes, información o capital puede ser interrumpido, lo que genera retrasos significativos, aumento de costos o fallas totales en el sistema. Estos puntos pueden ser físicos —puertos marítimos, puentes, canales y vías férreas—, organizacionales —puntos de decisión donde la falta de colaboración o la burocracia ralentizan las operaciones— o tecnológicos —sistemas de software o redes de información desactualizados que no permiten una trazabilidad fluida— (Alimahomed-Wilson & Ness, 2018). La interrupción en un chokepoint puede tener efectos en cascada a lo largo de toda la cadena, afectando la producción, la distribución y, en última instancia, al consumidor final.

## Metodología

Diseño de la investigación: esta investigación utilizó un diseño de estudio de caso exploratorio con un enfoque cualitativo, centrado en la cadena de suministro agroindustrial del banano en la región de Urabá, Colombia.

### Proceso de recolección de datos

Información primaria: se visitaron cinco empresas clave de la red productiva en Urabá: dos fincas bananeras, una fábrica de empaques y dos operadores logísticos. Durante estas visitas, se realizaron entrevistas semiestructuradas con gerentes de logística y jefes de producción para identificar los principales cuellos de botella (*chokepoints*) operativos y documentales.

Información secundaria: se realizó un análisis documental de los resultados de la Encuesta Nacional Logística del año 2022 (Departamento Nacional de Planeación (DNP) & Ministerio de Transporte, 2023), con un enfoque especial en los indicadores de entregas a tiempo, daños a la mercancía y problemas de transporte para el sector agroindustrial.

### Proceso de tratamiento y análisis de datos

La información cualitativa obtenida de las entrevistas fue transcrita y analizada mediante un análisis de contenido temático. Se codificaron las respuestas para identificar patrones recurrentes y categorizar los desafíos logísticos en tres áreas: físicos, informacionales y transaccionales, de acuerdo con el marco teórico de Alimahomed-Wilson & Ness (2018). Los puntos críticos identificados sirvieron como base para definir los requerimientos del prototipo de software SGL.

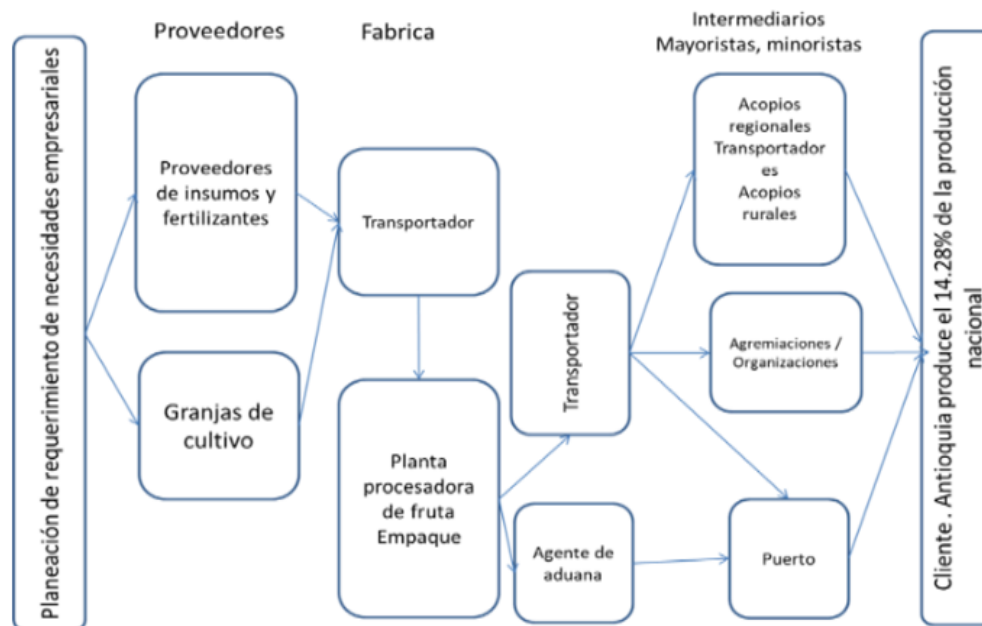
### Desarrollo y validación del prototipo

Se desarrolló un prototipo de *software* SGL con un *smart contract* en una red de prueba de Ethereum. Para validar su utilidad, se simuló el seguimiento de un pedido en un taller práctico con estudiantes y empresarios, donde se registró de forma inmutable el cumplimiento de tres hitos clave: confirmación de cosecha, despacho y recepción del producto. La visibilidad de esta información en tiempo real fue presentada como una solución directa a los *chokepoints* informacionales detectados.

## Cadena de suministro agroindustrial

Con la información primaria de la red de empresas visitadas se dibuja la cadena de suministro conformada por proveedores, granjas, transportadores, distribuidores, grandes superficies y consumidor final (figura 1). En estas interrelaciones se hace un enfoque en las interrupciones, con el fin de mejorar la confianza en los procesos ejecutados entre las partes involucradas. La figura 1 presenta los actores involucrados en la cadena de suministro para la entrega de banano como producto terminado al consumidor final.

**Figura 1**  
 Actores involucrados en la cadena de suministro



*Nota.* Fuente: elaboración propia, información estudio de campo Urabá antioqueño 2018, Semillero Investigación SILOGIC.

Los puntos vulnerables de una cadena de suministro, si no se gestionan adecuadamente, se convierten en chokepoints. Estos puntos no son solo físicos (como un puerto congestionado), sino que también son informacionales y transaccionales, y son causados por la falta de transparencia, trazabilidad y colaboración entre las empresas de la red. La incapacidad de coordinar el flujo de información y documentos de manera segura y confiable entre diferentes actores con intereses distintos ralentiza los procesos y reduce la competitividad global (Alimahomed-Wilson & Ness, 2018).

Para identificar la cadena de suministro, se tienen en cuenta seis actores de una cadena genérica de la producción agrícola, la cual se describe así:

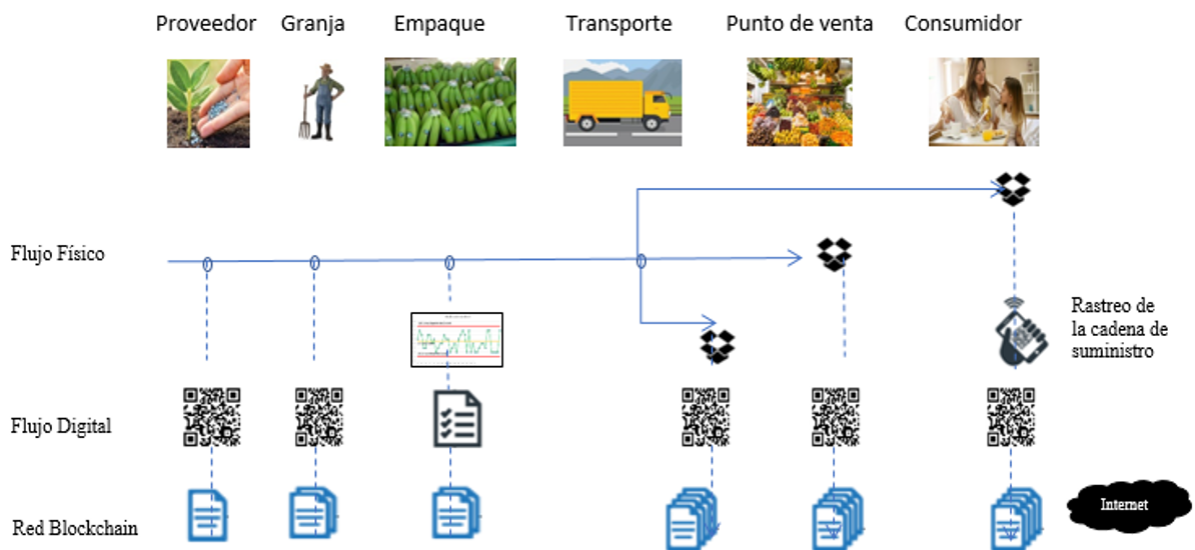
- Proveedor: representa todas las actividades y procesos para abastecer insumos y fertilizantes necesarios.
- Granja: lugar donde se realiza la siembra y cosecha de la fruta. El granjero utiliza los insumos y fertilizantes que requiere para garantizar el crecimiento y la calidad esperada de la fruta, de acuerdo con las condiciones de la tierra, el ambiente y la semilla cultivada.
- Empaque: comprende las actividades de preparación que requiere la fruta para ser despachada a los puntos de consumo, ya sea nacional o para exportación.
- Distribuidor: una vez empacado el producto comienza la distribución. El tiempo de entrega varía de acuerdo con el sitio de consumo. Los cuidados son muy especiales para garantizar la maduración, por eso, la distribución debe hacerse en condiciones especiales de temperatura.
- Punto de venta: en la venta nacional, el distribuidor entrega el producto a los minoristas, plazas de mercado o acopios de fruta, mientras que, para exportación, la fruta debe ser embarcada en condiciones especiales y cumplir con todos los requisitos de exportación.

- Cliente: es el usuario final de la cadena y quien paga por el producto recibido de acuerdo con lo solicitado; este exige, algunas veces, la trazabilidad del proceso.

### Cadena de suministro basada en *smart contract*

En la figura 2 se modelan los puntos de control y trazabilidad. En el flujo físico se lleva la trazabilidad del movimiento de materias primas, inventarios, calidad de las materias primas y del producto terminado, tiempo de cosecha y temperatura de transporte. Por su parte, en el flujo digital se hace trazabilidad a documentos propios del proceso que deben ser estrictamente controlados, como son los certificados de los proveedores, documento de identificación de la persona jurídica o natural, facturas, recibos, declaración de importación/exportación, registro de transporte y entregas, entre otros documentos necesarios para hacer el seguimiento de todos los procesos de la cadena de suministro.

**Figura 2**  
 Modelación de una cadena de suministro.



Nota. Fuente: datos propios adaptados de Baralla et ál. (2019).

El desarrollo de la cadena de suministro en el *software* SGL (sistema de gestión logística con *blockchain*) se logra por el trabajo en conjunto de las áreas de logística e informática; por esto, se dispone de un *software* para el trabajo institucional, para aprender y aplicar herramientas innovadoras a bajo costo. En seguida, la figura 3 muestra la selección de indicadores usados (gestionables), mientras que la Tabla 1 expone el acceso al sistema y la figura 4 presenta la pantalla inicial.

**Tabla 1**  
*Indicadores usados en el software SGL.*

No.	Indicador	Nomenclatura	Área	Cálculo	Base de datos requerida
1	Nivel servicio de almacenamiento	N.S.A	Almacenamiento	$N.S.A. = \frac{\text{SUMA de los Requerimientos con Respuesta Efectiva}}{\text{de las solicitudes}} \times 100\%$	1. Solicitudes realizadas al almacén 2. Registro de solicitudes realizadas exitosamente
2	Costo de Almacenamiento (por unidad promedio)	C.P.A.	Almacenamiento	$C.P.A = \frac{\text{No unidades almacenadas} \times \text{No días en el almacén} \times \text{costo diario de almacenamiento}}{\text{total unidades}}$	1. Costo de almacenamiento. Sale de suma de los costos de bodega, costos de servicios, costos administrativos, se puede calcular por metro cuadrado 2. Número de unidades almacenadas, sale del inventario del sistema 3. Número de días almacenados, sale de la base de datos de inventario, son los días que el inventario está almacenado
3	Nivel de mermas en inventario	N.M.I	Almacenamiento	$N.M.I = \frac{\text{suma de producto o MP averiado}}{\text{total de inventario disponible}}$	1. Inventario averiado, sale de la base de datos de Inventario averiado 2. Inventario disponible, sale de base de datos de Inventarios
4	Rotación de inventario	R.I	Almacenamiento	$\text{Rotación} = \frac{\text{Venta del Periodo}}{\text{Stock Promedio}}$	1. Ventas del periodo 2. Inventario promedio del mismo periodos
5	Tiempo de alistamiento de pedidos	T.A.	Almacenamiento	T.A = Tiempo desde que el pedido es realizado, hasta que el pedido es cargado en el transporte	1. Tiempo de alistar el pedido (tiempo desde que un pedido es realizado, hasta que está listo para ser cargado al transporte específico)
6	Tiempo de carga de pedidos	T.C.	Almacenamiento	$T.C = \frac{\text{Tiempo en que tarda un carro en ser cargado}}{\text{Total pedidos}}$	1. Tiempo carga 2. Número de pedidos
7	Nivel de servicio de la compra	N.S.C	Compras	$N.S.C = \frac{\text{compras realizadas}}{\text{compras solicitadas}}$	1. Compras realizadas / Compras solicitadas

Continúa en la siguiente página.

**Tabla 1**  
*Continuación*

8	Disponibilidad de inventario	de	D.I.	Compras	$D.I = \text{inventario solicitado} / \text{inventario despachado}$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pedidos de inventario de clientes, producción</li> <li>2. Inventario despachado</li> </ol>
9	Calidad de la compra		C.C.	Compras	$C.C = \text{Compras perfectas de proveedores certificados} / \text{total de compras}$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cantidad de órdenes de compra realizadas en un periodo</li> <li>2. Cantidad de proveedores certificados</li> <li>3. Cantidad de órdenes de compra proveedores certificados</li> </ol>
10	Tiempo reposición de compra		T.R.C	Compras	$T.R.C = \text{tiempo promedio de reposición de las compras}$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fecha orden de compra</li> <li>2. Fecha de entrega de material al almacén</li> </ol>
11	Tiempo de distribución de productos		T.D.	Distribución	$T.D = \text{suma de tiempo en ser transportado un material a la bodega o un producto terminado al lugar de consumo}$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tiempo de transporte por pedido</li> </ol>
12	Costo de transporte		C.T.	Distribución	$C.T = \text{mide el costo de transportar la mercancía} / \text{cantidad de pedidos transportados}$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Costo de transporte por recorrido</li> </ol>
13	Costo de empaque y embalaje		C.M.E.E	Distribución	$C.M.E.E = \text{costo de material de empaque por pedido}$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Costo de material de empaque y embalaje por pedido</li> </ol>
14	Material de empaque recuperado		M.E.R	Distribución	$M.E.R = \text{Material recuperado} / \text{total de Material usado}$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cantidad de material recuperado</li> </ol>
15	Costo material recuperado		C.M.R	Distribución	$C.M.R = \text{costo del material de empaque recuperado}$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Costo de material recuperado</li> </ol>
16	Asertividad de unidades planeadas, cambia por % Cumplimiento de lo planeado		A.U.P	Planeación	$A.U.P = \text{Unidades entregadas por proceso} / \text{Unidades planeadas por proceso}$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Unidades planeadas por proceso</li> <li>2. Unidades entregadas por proceso</li> </ol>
17	Asertividad de recursos planeados, cambia por % utilización de recursos		A.R.P	Planeación	$A.R.P = \text{recursos usados} / \text{total recursos planeados por proceso}$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Recursos en uso</li> <li>2. Recursos planeados</li> </ol>
18	Asertividad de costos planeados, cambia por Cumplimiento de costos		A.C.P	Planeación	$A.C.P = \text{Costo real por proceso} / \text{Costo planeado por proceso}$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Costos reales por proceso</li> <li>2. Unidades entregadas por proceso</li> <li>3. Recursos planeados</li> </ol>

Continúa en la siguiente página.

**Tabla 1**  
 Continuación

19	Asertividad en el pronóstico	AP	Planeación	AP = unidades entregadas / unidades pronosticadas	1. Unidades planeadas por proceso 2. Unidades entregadas por proceso
20	Nivel de servicio del sistema	N.S.S.	Planeación	N.S.S = Unidades vendidas a tiempo y completas / unidades pedidas	1. pedidos entregados bien, completos y a tiempo / pedidos solicitados
21	Nivel de servicio del transporte	N.S.T.	Planeación	N.S.T = Unidades transportadas a tiempo y completas / unidades pedidas	1. pedidos transportados bien, completos y a tiempo / pedidos solicitados
22	Nivel de servicio de despacho	N.S.D.	Planeación	N.S.D = Unidades despachadas a tiempo y completas / unidades pedidas	1. pedidos despachados bien, completos y a tiempo / pedidos solicitados
23	Nivel de Agotados	N.A	Planeación	N.A = Número de requerimientos con agotados de inventario / total de los requerimientos de esos productos	1. Cantidad de unidades solicitadas sin ser despachadas 2. Cantidad total de los requerimientos o pedidos de productos
24	Rendimiento sobre la inversión. Return on Equity	R.O.E	Planeación	R.O.E = (Ingreso Neto) / (Capital de los accionistas Promedio)	1. Ingreso neto 2. Capital de los accionistas
25	Rotación de cuentas por pagar. Accounts Payable Turnover	A.P.T	Planeación	APT = (Costos de los productos vendidos) / (Cuentas por pagar)	1. Costos de los productos vendidos 2. Cuentas por pagar
26	Rotación de las cuentas por cobrar. Accounts Receivable Turnover	A.R.T	Planeación	ART = (Ingresos por Ventas) / (Cuentas por Cobrar)	1. Ingresos por ventas 2. Cuentas por cobrar
27	Rotación propiedad, planta y equipo. Property, Plant and Equipment Turnover	P.P.E.T	Planeación	PPET = (Ingresos por Ventas) / PPET	1. Ingresos por ventas 2. Valor de propiedad planta y equipo

*Nota:* Definiciones omitidas en la transcripción para optimizar el espacio y priorizar las ecuaciones de cálculo y bases de datos requeridas.

**Figura 4**  
*Acceso al sistema.*



*Nota.* Fuente: Sistema de Gestión Logística (Versión 01) [Software de cómputo]. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid.

La tecnología blockchain permite hacer seguimiento de trazabilidad a las actividades importantes entre pares (actores de su cadena de suministro), con alta confiabilidad. Uno de sus mecanismos de seguridad es el hash, que traducido del inglés significa “picar y mezclar”; este, para el blockchain, es un algoritmo que digiere un grupo de datos y lo transforma en una huella dactilar con un único valor, cuya utilidad es mantener la integridad de los mismos datos (Ocariz, 2019).

Con el fin de que ninguna persona tuviera el control central entre empresas similares, los nodos distribuidos que ofrece el blockchain permite que redes pares P2P puedan conectarse a través de internet sin necesidad de un único servidor central que los organice, sino que cada nodo (ordenador) actúa como igual ante otros nodos, todos teniendo el rol de cliente y rol de servidor al mismo tiempo (Ocariz, 2019).

El poder de la tecnología blockchain y smart contract fue presentada por Ethereum, con la idea de sustituir intermediarios, de interconectar personas y entidades sin discutir propiedad y sin tomar partido; por eso, la aplicación de esta tecnología en las cadenas de suministro se hace cada vez más viable (Ocariz, 2019).

Para explorar la tecnología blockchain en la cadena de suministro estudiada se usaron los pasos ABCDE (Agile Blockchain Development Engineering), que comienzan con la definición de los principales actores del sistema, luego, los requisitos se registran como historia de cada actor y se diagrama el proceso (Baralla et al., 2019).

## **Beneficios de la tecnología en la trazabilidad de la cadena de suministro**

Uno de los principales beneficios validados fue la visibilidad de la información en tiempo real entre todos los actores de la cadena a través del software SGL. Este hallazgo aborda directamente los *chokepoints* de tipo informacional y organizacional descritos por Alimahomed-Wilson & Ness (2018), que surgen por la falta de coordinación y transparencia. En la práctica, al eliminar la asimetría de información entre el productor, el transportador y el distribuidor, la plataforma reduce la incertidumbre y permite tomar decisiones proactivas, mitigando los retrasos que caracterizan a estos puntos de interrupción.

La implementación del *smart contract* en Ethereum permitió crear un registro inmutable de los indicadores monitoreados durante el proceso logístico, usado académicamente por estudiantes y también en algunas cadenas de suministro. Esta capacidad tecnológica ofrece una solución directa a las deficiencias en la gestión documental, identificadas como un desafío crítico en la Encuesta Nacional Logística del año 2022.

Al digitalizar y asegurar la integridad de documentos como certificados, facturas y registros de entrega en *blockchain*, se minimizan los errores y se agilizan las validaciones. Consecuentemente, esto tiene el potencial de mejorar los niveles de entregas a tiempo, otro indicador crítico señalado por la ENL 2022, ya que muchos de los retrasos se originan en la gestión manual e ineficiente de la documentación. El desarrollo del software SGL permite conectar procesos y realizar análisis de datos en tiempo real, lo que facilita una gestión más ágil. Seguimiento y decisiones rápidas: se ha desarrollado *software* para rastrear pedidos dentro de una cadena de suministro, lo que permite a las empresas tomar decisiones rápidas para optimizar la gestión. Descentralización: cada actor de la cadena puede tomar las decisiones que le corresponden en el mismo momento en que se actualiza la información, gracias a la trazabilidad de las actividades seleccionadas. Confianza en las transacciones: los contratos inteligentes (*smart contracts*) permiten definir reglas comunes entre las partes que se ejecutan automáticamente, lo que genera confianza en las transacciones. La transparencia de los datos ayuda a reducir las disputas entre socios.

Eficiencia operativa e integridad de los datos: el uso del software especializado soluciona problemas de manejo de información y agiliza procesos que tradicionalmente son manuales y lentos. Almacenamiento sistémico: en entornos como las granjas o fábricas, donde la información a menudo se maneja en Excel y se pierde o no se conoce a tiempo, el software permite un manejo sistémico de los datos. Reducción de tiempos: el sistema reduce los tiempos de conciliación de información y de transacciones contables. Alta confiabilidad: la tecnología *blockchain* permite hacer un seguimiento de trazabilidad con alta confiabilidad entre los distintos actores de la cadena.

## Recomendaciones

A partir de los beneficios y desafíos identificados en el uso de *blockchain* y *smart contracts* para la trazabilidad, se proponen las siguientes líneas de acción:

### Para las empresas del sector agroindustrial:

Iniciar con proyectos piloto focalizados: en lugar de intentar transformar toda la cadena de suministro de una vez, se recomienda implementar proyectos piloto. Estos pueden centrarse en un *chokepoint* o punto crítico específico, como la certificación de origen o el monitoreo de la cadena de frío, para demostrar el valor de la tecnología con una inversión controlada y validar su impacto en indicadores clave.

Fomentar la creación de consorcios sectoriales: dado que la centralización de la información es un riesgo, se debe promover la colaboración entre productores, transportistas y distribuidores. La creación de un consorcio puede establecer estándares de datos y reglas de gobernanza comunes para una *blockchain* pública, asegurando que ningún actor individual domine la red y fomentando la confianza que actualmente se ve disminuida por controles excesivos.

Diseñar los *smart contracts* con precaución y flexibilidad: los contratos inteligentes, una vez desplegados, no pueden ser modificados, lo que puede limitar la flexibilidad ante cambios en los acuerdos comerciales. Se recomienda involucrar a equipos legales y operativos en la fase de diseño y explorar el uso de patrones de contratos actualizables que permitan ajustes futuros sin comprometer la seguridad.

### Para futuras líneas de investigación:

Realizar análisis cuantitativos de impacto: mientras que este estudio demuestra los beneficios cualitativos del uso de estas tecnologías, una línea de investigación futura debe enfocarse en cuantificar el retorno de inversión (ROI) de la implementación de *blockchain*. Esto implica medir la reducción porcentual en tiempos de entrega, la disminución de disputas comerciales y el ahorro de costos derivado de la automatización de auditorías.

Explorar la integración con tecnologías complementarias: se sugiere investigar la sinergia de *blockchain* con otras tecnologías de la industria 4.0. Por ejemplo, el uso de sensores de internet de las cosas (IoT) para registrar

automáticamente la temperatura y humedad durante el transporte, de manera que estos datos inmutables se escriban directamente en el *blockchain*, con el fin de aumentar exponencialmente la confiabilidad en el sistema. Desarrollar modelos de gobernanza para ecosistemas descentralizados: investigar y proponer marcos de gobernanza adaptados al contexto colombiano. Estos modelos deben definir claramente los roles, responsabilidades y mecanismos de resolución de conflictos en una red descentralizada, un aspecto crucial para la adopción a largo plazo.

## References

- Alimahomed-Wilson, J., & Ness, I. (2018). *Choke points: Logistics workers disrupting the global supply chain*. Pluto Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctt21kk1v2>
- Baralla, G., Pinna, A., & Corrias, G. (2019). Ensure traceability in European food supply chain by using a blockchain system. *Proceedings of the International Workshop on Emerging Trends in Software Engineering for Blockchain (WETSEB)*, 40–47. <https://doi.org/10.1109/WETSEB.2019.00012>
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2025). *Documento CONPES 3547: Política nacional logística*. Departamento Nacional de Planeación.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP), & Ministerio de Transporte. (2023). *Encuesta Nacional Logística 2022: Principales resultados y análisis*. Departamento Nacional de Planeación. <https://onl.dnp.gov.co/oli/Paginas/Logistica/ENL.aspx>
- Hu, Y., Liyanage, M., Manzoor, A., Thilakarathna, K., Jourjon, G., & Seneviratne, A. (2019). Blockchain-based smart contracts - Applications and challenges. *arXiv Preprint arXiv:1810.04699*. <https://arxiv.org/abs/1810.04699>
- Marchesi, L., Marchesi, M., & Tonelli, R. (2020). ABCDE – Agile Block Chain Dapp Engineering. *Blockchain Research and Applications*, 1(1-2), 100002. <https://doi.org/10.1016/j.bcr.2020.100002>
- Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system*. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- Ocariz, E. B. (2019). *Blockchain y Smart Contract. La revolución de la confianza*. Alfaomega Colombiana S.A.
- Saltini, R., & Akkerman, R. (2012). Testing improvements in the chocolate traceability system: Impact on product recalls and production efficiency. *Food Control*, 23(1), 221–226. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.07.015>
- Thakur, M., & Hurburgh, C. R. (2009). Framework for implementing traceability system in the bulk grain supply chain. *Journal of Food Engineering*, 95(4), 617–626. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.06.028>
- Tian, F. (2016). An agri-food supply chain traceability system for China based on Blockchain and RFID technology. *Proceedings of the 13th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM)*. <https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2016.7538424>