

**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA INFORMÁTICA**

**Prototipo de aplicación para la certificación de documentos digitales en instituciones de educación superior basado en la tecnología Blockchain.**

Trabajo de titulación, modalidad proyecto de investigación presentado como requisito para aprobar el trabajo de titulación, para optar el título de Ingeniero en Informática.

**FELICITA VASCO HENRY PAOLO**

**TUTOR:** **Ing. Santiago Morales Cardoso. PhD**

Quito, 2024

Contenido

[ANÁLISIS DEL PROBLEMA 3](#_Toc189474980)

[ANTECEDENTES 3](#_Toc189474981)

[PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 4](#_Toc189474982)

[HIPÓTESIS Y JUSTIFICACIÓN 5](#_Toc189474983)

[HIPÓTESIS 5](#_Toc189474984)

[JUSTIFICACIÓN 5](#_Toc189474985)

[OBJETIVOS 6](#_Toc189474986)

[OBJETIVO GENERAL 6](#_Toc189474987)

[OBJETIVOS ESPECÍFICOS 6](#_Toc189474988)

[2. MARCO TEÓRICO 6](#_Toc189474989)

[Metodología experimental 12](#_Toc189474990)

[Cálculos y resultados 12](#_Toc189474991)

[Discusión de resultados 12](#_Toc189474992)

[Conclusiones 12](#_Toc189474993)

[Recomendaciones 12](#_Toc189474994)

[Bibliografía 13](#_Toc189474995)

[Anexos 13](#_Toc189474996)

# ANÁLISIS DEL PROBLEMA

## ANTECEDENTES

El desarrollo de nuevas tecnologías abre posibilidades para la creación de negocios innovadores y la optimización de los ya existentes. La cuarta revolución industrial, impulsada por internet, ha dado lugar a importantes avances tecnológicos que han transformado numerosos aspectos de la vida cotidiana, generando un notable impacto en la sociedad. La tecnología blockchain surge como una solución innovadora para abordar diversos problemas en distintas áreas como la salud, educación el gobierno entre otros. En el ámbito educativo, esta tecnología facilita la eliminación de cuellos de botella en diversos procesos y proporciona una mayor protección para la información dentro de las instituciones. (Jaramillo & Piedra, 2021)

Generalmente las instituciones educativas suelen gestionar grandes volúmenes de expedientes, los cuales son frecuentemente solicitados por los estudiantes para diversos fines, como la transferencia de créditos, la obtención de becas, seguros, cambio de carrera o el cumplimiento de requisitos para ingresar a nuevos programas académicos. Aunque la transferencia de expedientes académicos es una tarea común en el día a día de estas instituciones, a menudo implica costos significativos debido a que los procesos de transferencia y verificación son altamente manuales. (Badr, Rafferty, Mahmoud, & Elgazzar, 2019)

Además, de los problemas asociados con la emisión de certificados académicos que amenazan la integridad de las instituciones educativas, incluso en las más prestigiosas, como el Instituto Tecnológico de Massachusetts. (Alnafrah, 2021)

En ese sentido la tecnología blockchain podrían abordar tales retos a través del despliegue de una plataforma abierta, descentralizada, y directa, en donde se pueda des intermediar el flujo de información, logrando que se pueda mejorar la transparencia y la confianza en los registros educativos. (Morales Morales, Rosero Correa, & Morales Cardoso, 2020)

**Aplicación de blockchain en el sector de la salud**

La tecnología blockchain se presenta como una herramienta muy prometedora para abordar el problema de la dispersión de la información médica de los pacientes cuando reciben atención en distintos centros de salud. En la actualidad, los datos médicos suelen estar fragmentados y carecen de un expediente único, lo que dificulta su acceso. Gracias a la blockchain, es posible recuperar de manera rápida y segura los registros médicos, garantizando la integridad y permanencia de la información relacionada con el diagnóstico y tratamiento de cada paciente. Todo lo que se refiere a exámenes, biopsias y procedimientos quedan almacenados en una red descentralizada, creando un historial médico inmutable que solo puede ser consultado con la autorización del paciente, lo cual es fundamental para el desarrollo de tratamientos personalizados. (Gómez Bocanegra, García-delaTorre, PantojaMeléndeza, & Loose Rojo, 2024)

**Aplicación de blockchain en la cadena de suministros**

La gestión y distribución de medicamentos o productos farmacéuticos representa un desafío crucial tanto a nivel nacional como internacional. Existe el riesgo de que estos productos sean adulterados, etiquetados de manera fraudulenta o desviados desde su punto de origen con la intención de engañar a los consumidores, haciéndoles creer que están adquiriendo un producto auténtico. Asimismo, la cadena de suministro en el sector de la salud es un complejo sistema de negocios que abarca procesos como adquisición, producción, almacenamiento y distribución de productos y servicios médicos. Esta red incluye normas y procedimientos esenciales para garantizar el acceso a los medicamentos y satisfacer las necesidades de los pacientes, profesionales de la salud e instituciones médicas. En términos generales, la circulación de medicamentos falsificados o de baja calidad representa un riesgo significativo para los pacientes y sus familias. En este contexto, la tecnología blockchain surge como una solución innovadora para optimizar la transparencia, eficiencia y seguridad en la cadena de suministro. Al descentralizar el control de los datos y garantizar un registro inalterable de la información, esta tecnología permite eliminar intermediarios y establecer sistemas de seguimiento en tiempo real, ofreciendo mayor confianza a todos los actores involucrados en el proceso. (Lara Moran, 2024)

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las instituciones de educación superior, la certificación y validación de documentos académicos, como títulos, certificados y constancias, sigue dependiendo en gran medida de procesos manuales y centralizados, esto conlleva problemas abriendo la posibilidad a posibles falsificaciones de documentos, demoras en la verificación de autenticidad y costos administrativos elevados. Adicionalmente, los egresados y empleadores enfrentan dificultades para validar credenciales en tiempo real, lo que impacta la eficiencia de procesos de contratación y admisión a estudios avanzados. Las soluciones basadas en correo electrónico, transferencia de registros PDF y portales de entregas seguros, para la verificación, validación o homologación de documentos en línea son cada vez más comunes, teniendo estas un enfoque más moderno, todavía existen limitaciones en términos de verificación y escalabilidad. (Jaramillo & Piedra, 2021)

La tecnología blockchain ha emergido como una alternativa viable para garantizar la autenticidad, inmutabilidad y trazabilidad de documentos digitales. Sin embargo, muchas universidades aún no han adoptado esta tecnología debido a la ausencia de soluciones prácticas y accesibles que faciliten su implementación.

En este contexto, surge la necesidad de desarrollar un prototipo de aplicación basado en blockchain que permita a las instituciones de educación superior certificar y verificar documentos digitales de manera segura, descentralizada y eficiente. Por esta raz{on este estudio busca analizar la viabilidad de dicha solución y evaluar su impacto en la reducción del fraude académico y la optimización de procesos administrativos en el ámbito educativo.

## HIPÓTESIS Y JUSTIFICACIÓN

## HIPÓTESIS

¿Es posible implementar un prototipo basado en Blockchain para la certificación de documentos digitales en instituciones de educación superior?

## JUSTIFICACIÓN

En Ecuador, las instituciones educativas operan de manera independiente en cuanto a los sistemas de emisión y verificación de certificados, lo que significa que cada entidad gestiona de forma centralizada sus propios procesos. Como resultado, los estudiantes deben encargarse del almacenamiento de los certificados para integrarlos en su portafolio profesional. Estos sistemas centralizados aumentan la carga de trabajo en las instituciones, especialmente a la hora de verificar la autenticidad de los documentos, los cuales son vulnerables a falsificación.

El propósito de este proyecto es desarrollar una solución basada en la tecnología blockchain para optimizar la verificación, validación y homologación de los certificados de suficiencia en el idioma inglés en la Universidad Central del Ecuador. Esta implementación busca mejorar la eficiencia de los procesos administrativos, ofreciendo un sistema ágil, seguro y confiable.

La adopción de blockchain proporciona diversas ventajas dentro del ámbito educativo, tales como la reducción de intermediarios en la validación de documentos, la eliminación de cuellos de botella en los trámites administrativos y la disminución de los tiempos de espera. Además, garantiza la autenticidad e inmutabilidad de la información, fortaleciendo la confianza y transparencia en la certificación académica y reduciendo riesgos como la falsificación o pérdida de documentos.

El impacto de esta propuesta no solo beneficiará a la Universidad Central del Ecuador, sino que también tiene como objetivo extenderse a otras instituciones de educación superior interesadas en modernizar sus procesos. El proyecto busca transformar el sistema hacia entornos interconectados, abiertos y confiables, capaces de registrar de manera precisa el desempeño estudiantil y facilitar la transferencia de certificados, expedientes académicos y cualquier otra información relevante relacionada con la trayectoria universitaria de los estudiantes.

## OBJETIVOS

## GENERAL

Crear un prototipo de aplicación web utilizando tecnología blockchain para la certificación de la culminación de estudios del idioma inglés en el Instituto académico de Idiomas de la Universidad Central del Ecuador, garantizando la autenticidad, seguridad y transparencia en la validación de los certificados académicos.

## ESPECÍFICOS

- Proponer un modelo de solución basado en blockchain para la validación de certificados de estudios del idioma inglés en el Instituto Académico de Idiomas de la Universidad Central del Ecuador.

- Identificar y seleccionar la herramienta tecnológica más adecuada para el desarrollo del prototipo.

- Aplicar una metodología ágil que permita mejorar la flexibilidad y eficiencia en el desarrollo del proyecto.

- Realizar una prueba piloto con 20 certificados académicos dentro del Instituto Académico de Idiomas para validar la efectividad del modelo propuesto.

# 2. MARCO TEÓRICO

**2.1 Conceptos**

**2.1.1Certificación**

El término certificación se define como la acción y efecto de certificar o el documento en que se asegura la verdad de un hecho. Es decir, es un documento emitido por una entidad competente que confirma la autenticidad de algo. La certificación se materializa en un certificado, que puede ser de distintos tipos, como certificación de empresas, productos y personas. (Miranda González., Chamorro Mera, & Rubio Lacoba, 2020)

**2.1.2 Certificación académica**

Es un documento oficial que acredita el historial académico de una persona. Generalmente, es emitido por una institución educativa (como una universidad) y contiene información detallada sobre los estudios realizados por el estudiante, incluyendo las asignaturas cursadas, las calificaciones obtenidas, las fechas de asistencia y la titulación alcanzada.

Este tipo de certificación es útil cuando un estudiante o egresado necesita demostrar su formación académica para trámites laborales, admisiones a otros programas educativos, convalidaciones de estudios en el extranjero o solicitudes de becas, entre otros. (Jaramillo & Piedra, 2021)

**2.2 Blockchain**

El término *Blockchain*, también conocido como *cadena de bloques*, es una tecnología considerada disruptiva que evoluciona constantemente y es utilizada por diversas empresas para aprovechar sus características. Se considera una de las principales tecnologías de la cuarta revolución industrial. (Reyes Sáncheza, 2022)

Blockchain es una red compuesta por varios nodos que contienen registros almacenados en cadenas de bloques. Funciona como una base de datos distribuida en la que la información se organiza en bloques, y cada bloque está vinculado al anterior mediante criptografía, formando una cadena. Esta cadena se replica en cada nodo de la red, garantizando disponibilidad y seguridad. (Kuchkovsky, Gómez Lardies, Díez García, & Molero, 2017)

Esta tecnología elimina la necesidad de un tercero como verificador, ya que la red misma verifica y valida las transacciones, haciendo que sea extremadamente difícil alterar o modificar la información sin que el resto de la red lo detecte. (Zozaya, Incera, & Franzoni, 2019)

**2.2.1 Características de Blockchain**

A continuación, se presentan algunas propiedades que distinguen a esta tecnología.

* **Descentralización:** La información dentro de una blockchain se distribuye entre múltiples nodos en la red, evitando que una sola entidad tenga control absoluto sobre los registros. Esto minimiza el riesgo de manipulación y fallos del sistema. (Murthy, Lawanya Shri, Seifedine , & Lim, 2020)
* **Inmutabilidad:** Una de las características esenciales de blockchain es que la información se registra en bloques enlazados criptográficamente. Una vez añadido un bloque a la cadena, no puede ser alterado ni eliminado, garantizando así la seguridad e integridad de los datos almacenados. (Murthy, Lawanya Shri, Seifedine , & Lim, 2020)
* **Disponibilidad:** Dado que la cadena de bloques está replicada en múltiples nodos, la información es accesible en todo momento. Esto garantiza una alta disponibilidad, ya que las transacciones no dependen de un único servidor. (Orosco Pantoja & Sánchez Lucas, 2023)
* **Transparencia:** En una blockchain pública, todos los participantes pueden visualizar las transacciones registradas, lo que permite su verificación y auditoría. Esta cualidad fortalece la confianza en la red, ya que cualquiera puede revisar el historial de operaciones. (Jaramillo & Piedra, 2021)
* **Anonimato y privacidad:** A pesar de la transparencia de las blockchain públicas, los usuarios pueden preservar su identidad mediante direcciones alfanuméricas en lugar de nombres reales. En el caso de blockchain privadas, es posible ajustar los niveles de anonimato y control de acceso para una mayor protección en las transacciones. (Kuchkovsky, Gómez Lardies, Díez García, & Molero, 2017)

**2.2.2 Arquitectura de Blokchain**

Una cadena de bloques es una secuencia de bloques que almacena un historial completo de todas las transacciones en un libro contable descentralizado y público.

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura 1: Estructura blockchain.

En la figura 1 se ilustra un ejemplo de una cadena de bloques. Cada bloque está vinculado al anterior mediante un hash criptográfico, en un bloque solo puede existe un bloque padre, el único bloque que no contiene un bloque padre es el primer bloque de la cadena también conocido como bloque génesis. (Zibin, Shaoan , Hongning , Xiangping , & Huaimin , 2017)

**2.2.3 Bloque**

Un bloque es un archivo público que contiene un conjunto de transacciones validadas y replicadas en todos los nodos de una cadena de bloques. Generalmente un bloque se encuentra estructurada en dos secciones: la cabecera y el cuerpo.

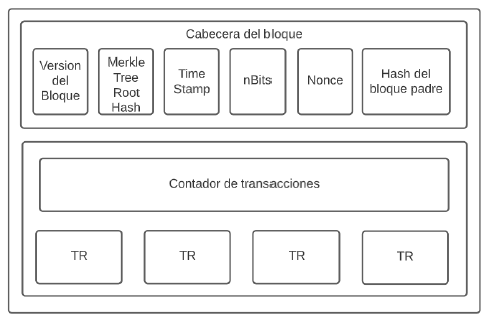


Figura 2. Estructura de un bloque.

MENCIONAR LA FIGIRA

**Cabecera del bloque**

La cabecera contiene varios elementos clave:

(I) La **versión del bloque**, que indica el conjunto de reglas de validación que deben aplicarse.  
(II) Una **marca de tiempo** (timestamp), que registra el momento exacto en el que se creó el bloque.  
(III) El **tamaño del bloque**, medido en bits, que establece el límite para considerar válido un hash.  
(IV) El **nonce**, un número entero que comienza en cero y aumenta progresivamente con cada intento de resolución del problema criptográfico asociado a la creación del bloque.  
(v) El **hash del bloque padre**, un valor de 256 bits que enlaza con el bloque anterior, excepto en el caso del bloque génesis.  
(vi) La **raíz del árbol de Merkle**, una estructura de datos que almacena hashes criptográficos organizados de manera jerárquica, facilitando la verificación eficiente de la integridad de grandes volúmenes de información. (Reyes Sáncheza, 2022)

**Cuerpo del bloque**

El cuerpo del bloque incluye el libro mayor y un contador de transacciones registradas en él. La cantidad máxima de transacciones en un bloque varía según el tamaño del bloque y el espacio ocupado por cada transacción. (Orosco Pantoja & Sánchez Lucas, 2023)

Gracias a la estructura del árbol de Merkle, la integridad de las transacciones dentro de un bloque está asegurada, ya que cualquier modificación en los datos afectaría la cadena de hashes, invalidando su autenticidad. (Zibin, Shaoan , Hongning , Xiangping , & Huaimin , 2017)

**2.2.4 Mecanismo de consenso**

En términos generales, los mecanismos de consenso, también conocidos como algoritmos o protocolos de consenso, se refieren a un conjunto de reglas que regulan el flujo de información dentro de una blockchain. Constituyen en el fundamento de cualquier blockchain, ya que determinan quién y cómo se genera un nuevo bloque en la cadena. Existen diversos tipos de mecanismos de consenso, algunos de los más relevantes se describen a continuación. (Satoshi Nakamoto, 2008)

**Prueba de trabajo (PoW - Proof of Work):** Este mecanismo se basa en la resolución de un problema matemático complejo que requiere un alto poder computacional para validar y agregar un nuevo bloque a la blockchain. (Murthy, Lawanya Shri, Seifedine , & Lim, 2020)

**Prueba de participación (PoS - Proof of Stake):** En este modelo, la probabilidad de que un usuario genere el próximo bloque está determinada por la cantidad de monedas que posee. A mayor participación en la red, menor es la posibilidad de que un usuario actúe de manera maliciosa. (Orosco Pantoja & Sánchez Lucas, 2023)

**Prueba de participación delegada (DPoS - Delegated Proof of Stake):** En este enfoque, los participantes de la red seleccionan delegados responsables de validar y añadir nuevos bloques a la cadena. (Murthy, Lawanya Shri, Seifedine , & Lim, 2020)

Cualquier mecanismo de consenso debe cumplir con tres principios fundamentales:

1. **Validez**, garantizando que solo las transacciones legítimas sean aprobadas por nodos autorizados.
2. **Conformidad**, asegurando que todos los nodos honestos lleguen a un acuerdo sobre el estado de la red.
3. **Terminación**, permitiendo que todos los nodos legítimos alcancen una decisión definitiva.

Además, estos algoritmos deben incluir mecanismos de seguridad para proteger la blockchain contra ataques y eventos adversos. (Murthy, Lawanya Shri, Seifedine , & Lim, 2020)

**2.3 Smart Contracts**

La aparición de la tecnología blockchain en la segunda generación demostró que podía usarse más allá de realizar simples pagos, transacciones y transferencias que involucran a sistemas financieros, por tanto, surgen los contratos inteligentes. Esta tecnología se lo puede definir como un programa que contiene un conjunto de instrucciones que se ejecutan de forma automática en cada nodo presente en la red en función del cumplimiento de las condiciones específicas del código. Esto crea confianza entre dos partes que no se conocen entre sí, ya que el código se ejecuta públicamente en la red y es verificable. (Morales Morales, Rosero Correa, & Morales Cardoso, 2020)

**2.3.1 Estructura de un Smart Contract**

Un contrato inteligente se compone de los siguientes elementos:

* **Dirección**: Es un identificador único dentro de la blockchain.
* **Valor**: Representa la cantidad de criptomoneda asociada al contrato.
* **Funciones**: Son instrucciones programadas que se pueden ejecutar dentro del contrato.
* **Estado**: Son los datos almacenados, los cuales pueden modificarse dependiendo de la ejecución de las funciones.

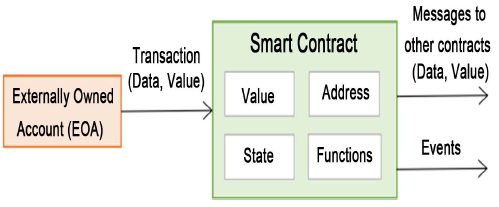


Figura 3. Estructura básica de un contrato inteligente.

Como se indica en la figura 3 se presenta un ejemplo simple de un contrato inteligente. Este contrato recibe la transacción como entrada, ejecuta el código pertinente y activa los eventos de salida. Según la lógica implementada en la función, los estados del contrato cambian durante su ejecución (Bhabendu, Soumyashree, & Debasish , 2018)

**2.3.2 Ethereum y EVM**

Ethereum es una plataforma digital creada en 2015 por Vitalik Buterin que se basa en la tecnología blockchain introducida por Bitcoin. Aunque su estructura es similar a la de Bitcoin, Ethereum incorpora un lenguaje de programación que permite a los desarrolladores diseñar software capaz de gestionar transacciones y automatizar procesos mediante contratos inteligentes. (Marugán Rivilla, 2019)

Esta plataforma es de código abierto, lo que significa que cualquier programador puede acceder a su estructura, modificarla y mejorarla, además de desarrollar aplicaciones sobre ella gracias a la Máquina Virtual de Ethereum (EVM). (Santos García, 2019)

La EVM es un entorno de ejecución que opera dentro de la red Ethereum sin depender del lenguaje de programación utilizado. Su propósito es facilitar y optimizar la creación de aplicaciones en la blockchain, ya que admite un lenguaje de programación Turing Completo. En otras palabras, significa que el lenguaje posee la capacidad para que un ordenador pueda resolver operaciones computacionales en un determinado tiempo y con los recursos disponibles. (Morales Morales, Rosero Correa, & Morales Cardoso, 2020)

**2.3.3 Solidity**

Existen diferentes lenguajes de programación utilizados para desarrollar contratos inteligentes. En esta investigación, nos centraremos en uno de los más populares y respaldados: Solidity. Este lenguaje de alto nivel permite a los desarrolladores crear bloques de código que agrupan datos y funciones, los cuales se convierten en contratos inteligentes dentro de la red blockchain de Ethereum. Solidity fue diseñado con el objetivo de asegurar que los contratos inteligentes se ejecuten de manera eficiente y correcta en cualquier plataforma que sea compatible con la Ethereum Virtual Machine (EVM). (Orosco Pantoja & Sánchez Lucas, 2023)

Entre las características más destacadas de Solidity están:

* **Orientación a objetos**: Solidity sigue los principios de la programación orientada a objetos, utilizando clases para crear objetos que interactúan entre sí. Esto facilita la creación de código reutilizable y fácil de mantener. (Ocaña Valdez, 2024)
* **Aprendizaje accesible**: La sintaxis de Solidity es similar a la de JavaScript, lo que facilita su aprendizaje para desarrolladores que ya tienen experiencia con JavaScript o con otros lenguajes backend como Java o .NET. Además, el lenguaje cuenta con una documentación bastante completa, y se requiere solo un conocimiento básico del entorno para comenzar a trabajar con él. (Hernández Formento, 2024)
* **Optimización para la EVM**: Solidity está específicamente diseñado para Ethereum y su Ethereum Virtual Machine (EVM). Su propósito es ofrecer una forma sencilla y eficiente de desarrollar contratos inteligentes que aprovechen al máximo las capacidades de la EVM. (Ocaña Valdez, 2024)

USAR YA EL FORMATO IEEE.

# Metodología experimental

# Cálculos y resultados

# Discusión de resultados

# Conclusiones

# Recomendaciones

# Bibliografía

# Anexos