

Una arquitectura y prueba de concepto basada en Blockchain para la entrega remota de exámenes en una universidad a distancia

Juan Luis Rubio Sánchez

Vicerrector de Relaciones Universidad-Empresa de la
Universidad a Distancia de Madrid, UDIMA (España)

juanluis.rubio@udima.es | <https://orcid.org/0000-0003-2762-6428>

Extracto

En los últimos años son muchos los autores (hombres y mujeres) que están proponiendo diferentes usos de la tecnología Blockchain (*Blockchain technology* [BT]) en distintos sectores industriales. Estos usos están relacionados principalmente con el intercambio de datos planos y con el intercambio de ficheros, como imágenes, música y otros. Las aplicaciones en finanzas, logística, seguros, comercio y otros no paran de aparecer día a día. En el ámbito de la educación se han propuesto distintos usos con BT que van desde un repositorio de certificados hasta la custodia de expedientes. Sin embargo, aún no se ha experimentado la extensión de la BT hasta aplicaciones docentes para el estudiante. La solución propuesta resuelve el problema del envío remoto de exámenes en las universidades garantizando la inmutabilidad (no manipulación *expost*) de la entrega realizada por el alumno. La prueba de concepto se ha aplicado al caso de una entrega remota de un examen como validación del caso de uso propuesto. Los resultados de la prueba de concepto son positivos y satisfactorios en tres aspectos: el estudiante puede fácilmente hacer el envío sin conocimientos específicos de BT, la comunidad universitaria en su conjunto puede acceder al examen remitido por el alumnado y comprobar su contenido y la inmutabilidad del examen enviado está garantizada por la propia arquitectura propuesta basada en BT.

Palabras clave: Blockchain; examen *online*; prueba; concepto; universidad; fiabilidad; inmutabilidad.

Recibido: 04-05-2021 | Aceptado: 10-09-2021 | Publicado: 07-05-2022

Cómo citar: Rubio Sánchez, J. L. (2022). Una arquitectura y prueba de concepto basada en Blockchain para la entrega remota de exámenes en una universidad a distancia. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 22, 103-130. <https://doi.org/10.51302/tce.2022.636>

A Blockchain based architecture and proof of concept for remote examination at an open university

Juan Luis Rubio Sánchez

*Vicerrector de Relaciones Universidad-Empresa de la
Universidad a Distancia de Madrid, UDIMA (España)*

juanluis.rubio@udima.es | <https://orcid.org/0000-0003-2762-6428>

Abstract

During last years, a great number of researchers are proposing different uses for the Blockchain technology (BT) in different industries. The uses are related to the raw data exchange and to the exchange of image and music files. More over, new applications in finance, logistics, insurances, commerce and other areas appear everyday. In the educational industry, several applications of BT have been proposed: repositories for certificates, custody of expedients, etc. Nevertheless, it is difficult to find any application of BT for educational –non administrative– purposes. The solution presented in the paper, solves the problem of sending an exam remotely and it guarantees the immutability (no ex post modification) of the file sent by the student. The proof of concept has been applied to an exam to validate its feasibility. The results are satisfactory as the technology is transparent for the student, the university can access the exam any moment and verify its content and the immutability of the exam is guaranteed by the use of BT.

Keywords: Blockchain; remote exam; proof; concept; university; reliability; immutability.

Received: 04-05-2021 | Accepted: 10-09-2021 | Published: 07-05-2022

Citation: Rubio Sánchez, J. L. (2022). A Blockchain based architecture and proof of concept for remote examination at an open university. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 22, 103-130. <https://doi.org/10.51302/tce.2022.636>



Sumario

1. Introducción
 - 1.1. Revisión de la literatura
 - 1.1.1. Aplicaciones genéricas de BT
 - 1.1.2. Aplicaciones específicas de BT en el sector educativo
 - 1.2. Objetivo
 2. Materiales y métodos
 - 2.1. Elementos organizativos
 - 2.2. Elementos tecnológicos
 - 2.2.1. Marco de trabajo
 - 2.2.2. Arquitectura
 - 2.2.3. Mensajería
 - 2.2.4. Interfaz de usuario
 3. Resultados
 4. Discusión de resultados. Trabajos futuros
 - 4.1. Análisis de resultados
 - 4.2. Líneas futuras de trabajo
- Referencias bibliográficas

Nota: el autor del artículo declara que todos los procedimientos llevados a cabo para la elaboración de este estudio de investigación se han realizado de conformidad con las leyes y directrices institucionales pertinentes. Asimismo, el autor del artículo ha obtenido el consentimiento informado (libre y voluntario) por parte de todas las personas intervinientes en este estudio de investigación.

1. Introducción

El número de empresas que emplean las tecnologías de la información de forma intensiva crece paulatinamente de año en año. Este crecimiento ha obligado a las empresas a ofrecer nuevos productos y servicios, así como a idear nuevos modelos de negocio en los que basarse. La irrupción de tecnologías emergentes está de igual modo impulsando este fenómeno. Una de estas tecnologías es Blockchain (Herrington y Parker, 2013). Junto a esto, la aparición de acontecimientos imprevistos como la COVID-19 han acelerado el proceso de transformación en las empresas (Papadopoulos *et al.*, 2020), lo cual está generando nuevos riesgos (Gelles, 2020; Mikytyn, 2020) en los procesos productivos. Algunos ejemplos de esta transformación se pueden encontrar en la incorporación del teletrabajo, el uso masivo del *e-learning* o la adopción de la videoconferencia como herramienta prioritaria de comunicación empresarial (Milasi *et al.*, 2020).

En el caso de los centros de educación, la adopción de nuevas tecnologías se está realizando con varias finalidades: para facilitar el teletrabajo, para promover el acceso a servicios internos de colegios y universidades (secretaría, biblioteca, expedientes, etc.), para dar soporte a los procesos de aprendizaje *online* o para la realización y gestión de los exámenes en línea, entre otras varias funcionalidades (Lokanath *et al.*, 2020). Sin embargo, la transformación digital que está teniendo lugar provoca la aparición de nuevos problemas que hay que resolver. Más concretamente en el caso de la realización de exámenes *online*, dichos problemas están relacionados con la autenticación del usuario, la integridad y robustez de la información y de los sistemas de comunicación, así como la fiabilidad e inmutabilidad de los datos.

En el caso de los centros de educación, la adopción de nuevas tecnologías se está realizando con varias finalidades: para facilitar el teletrabajo, para promover el acceso a servicios internos de colegios y universidades, para dar soporte a los procesos de aprendizaje *online* o para la realización y gestión de los exámenes en línea, entre otras diversas funcionalidades

Una de las tecnologías más prometedoras para la resolución de estos problemas en el sector educativo es la BT (Steu, 2020). La BT es una infraestructura que posibilita la creación de bases de datos distribuidas, descentralizadas e inmutables. Estas bases de datos están compuestas de bloques de información (datos, transacciones, tiempo, identidades, etc.) distribuidos a lo largo de la red Blockchain, siendo este el punto clave de la BT: la distribución entre los nodos de la red de la información y la necesidad de modificar todos estos nodos garantiza la integridad y la inmutabilidad de los datos.

Tal y como se explica en Alamy *et al.* (2018), la adopción de BT para resolver diferentes problemas en la industria educativa es un campo de interés creciente. Es importante resaltar que el uso de esta tecnología en los diferentes procesos educativos crece más despacio que en otros sectores a pesar de los diferentes problemas que podría resolver:

- Gestión de certificados.
- Gestión de competencias y resultados de aprendizaje.
- Evaluación de habilidades profesionales.
- Aspectos referentes a ciberseguridad.
- Pagos de matrículas.
- Cuestiones de *copyright* y derechos de autor.
- Aspectos metodológicos del *e-learning*.
- Entrega y revisión de exámenes remotos.

Es posible encontrar otras sugerencias de aplicación de BT en el sector educativo (Indu, 2019; Kaur *et al.*, 2020), si bien la mayor parte de ellas son propuestas que aún no han sido desarrolladas y, por tanto, todavía no ha sido probada su viabilidad. Tal y como indican Karale *et al.* (2019), la aplicación más común consiste en el uso de BT para la emisión de certificados digitales. En cualquiera de los casos, la aplicación de BT presenta ciertos inconvenientes y no está exenta de problemas variados (Haugsbaken y Langseth, 2019). No obstante, y a pesar de los inconvenientes, Haugsbaken y Langseth (2019) resaltan el gran potencial de dicha tecnología. El consenso general entre los distintos autores que han tratado estos inconvenientes se centra en varios aspectos:

Es importante resaltar que el uso de esta tecnología en los diferentes procesos educativos crece más despacio que en otros sectores a pesar de los distintos problemas a los que podría dar solución: gestión de certificados, gestión de competencias y resultados de aprendizaje, evaluación de habilidades profesionales, aspectos referentes a ciberseguridad, pagos de matrículas, cuestiones de *copyright* y derechos de autor, aspectos metodológicos del *e-learning* y entrega y revisión de exámenes remotos

- La necesidad de resolver aspectos legales y de protección de datos.
- Las posibilidades reales de crecimiento de cualquier solución basada en BT, dados los exigentes requerimientos computacionales que acarrea.
- La resistencia al cambio dentro de las organizaciones.

Por lo tanto, en este estudio de investigación se han considerado los siguientes puntos:

- La situación de pandemia existente que ha forzado la modificación de los procesos de evaluación de los estudiantes, obligando en la mayor parte de los casos a la realización de exámenes en remoto –con las dificultades que ello conlleva en cuanto a identificación, almacenamiento, inviolabilidad e inmutabilidad de los exámenes remitidos por los alumnos–.
- Los trabajos publicados en cuanto a aplicación de BT en el sector educativo se centran casi exclusivamente en la generación de certificados, quedando la mayor parte de las potenciales aplicaciones previamente citadas sin abordar.
- La necesidad de experimentar y testear en pruebas piloto la aplicabilidad real de BT en otros requerimientos de la industria educativa y siendo, en estos momentos, una de las más prioritarias la de salvaguardar las propiedades de inviolabilidad e inmutabilidad de los exámenes registrados por los estudiantes.

El consenso general entre los distintos autores que han tratado los inconvenientes de la BT se centra en la necesidad de resolver aspectos legales y de protección de datos, en las posibilidades reales de crecimiento de cualquier solución basada en BT, dados los exigentes requerimientos computacionales que acarrea, y en la resistencia al cambio dentro de las organizaciones

Y en los siguientes apartados haremos una revisión detallada de la literatura existente sobre el uso educativo de BT, más concretamente en la remisión remota de exámenes, y se planteará el objetivo del trabajo. Posteriormente, plantearemos una solución al problema y las pruebas que muestran la viabilidad de la propuesta. El trabajo concluirá con el análisis de resultados y las líneas de futuros trabajos de investigación.

1.1. Revisión de la literatura

1.1.1. Aplicaciones genéricas de BT

El creciente interés en la BT se extiende por todas las industrias. Instituciones financieras, empresas logísticas, brókeres de criptodivisas, comercios *online*, empresas de energía, distribuidores, la industria alimenticia y muchos otros negocios están incorporando la BT a los distintos procesos productivos y de gestión de sus empresas.

Como ejemplo, empresas del sector financiero están adoptando la BT en sus pasarelas de pago (Arnold, 2016; Navas Bayona *et al.*, 2020) o incluso grandes instituciones están incorporando esta tecnología como parte de sus recursos tecnológicos (Del Río, 2017).

Conclusiones parecidas se pueden obtener del *e-commerce* y de los grandes operadores de comercio internacional (Budet Jofa y Pérez Gómez, 2018; Morales, 2017; Olaizola Arregui, 2020), donde la BT se emplea para garantizar la trazabilidad de cada producto. Particularmente llamativo es el caso de Meng *et al.* (2018), en el que la BT se utiliza para la detección de potenciales accesos no deseados a las comunicaciones entre *partners*, así como para la detección de *malware*.

En el caso del sector salud, las aplicaciones de BT las podemos encontrar para el registro seguro de historiales médicos de pacientes, mientras que, en el caso del sector asegurador, la BT se emplea para detectar partes fraudulentos cuya finalidad es el lucro ilícito de los asegurados (Chen *et al.*, 2018). Es más, el éxito de la tecnología ha sido tal en este caso que las compañías de seguros han creado su propio protocolo –denominado «InsuranceX»–, basado en BT, para la detección de estos casos. En este mismo trabajo de Chen *et al.* (2018) se muestra también cómo las empresas de publicidad han sabido sacar provecho de la BT empleándola para la detección de fraudes, falta de transparencia y comportamientos no éticos en el sector.

La industria audiovisual y de comunicación se ha incorporado también a la carrera por la adopción de BT: la problemática derivada de los derechos de autor, *copyright*, derechos de imagen, autoría de obras, falsificación, y otros tantos aspectos que permanentemente envuelven a este sector, se puede resolver mediante BT (Behrens, 2018; Blockchain Observatory, 2019; Ferrer-Sapena y Sánchez-Pérez, 2019). Igualmente, la industria de la alimentación aplica esta tecnología para ofrecer al consumidor una traza del alimento, desde su origen hasta que es expuesto en el supermercado, con garantía absoluta del procesamiento del mismo y la certeza de que la información ofrecida es veraz y no ha sido alterada (Antonucci *et al.*, 2019; Bettín-Díaz *et al.*, 2018).

Las referencias al sector educativo son, por lo general, escasas. Jaoude y Saade (2019) ofrecen una revisión exhaustiva de la literatura sobre aplicaciones de BT y se observa un claro sesgo de las aplicaciones en las industrias de energía, salud o internet de las cosas (*internet of things* [IoT]), mientras que áreas como educación o medioambiente apenas tienen reseñas en el mercado. No obstante, y dado el interés para el presente trabajo, se ha realizado una prospección más detallada sobre el uso de la BT en educación, que se explica en el siguiente apartado.

1.1.2. Aplicaciones específicas de BT en el sector educativo

La industria educativa es una de las que más tarde se ha incorporado a la búsqueda de aplicaciones de BT para resolver algunos de los problemas que presentan las actuales tendencias en docencia. De forma general se puede indicar que las investigaciones existentes tratan de sacar provecho de las características de la BT en el sentido de transparencia, distribución, confiabilidad, colaboración e inmutabilidad de los datos.

A partir de la revisión de la literatura se constata la existencia de pocas aplicaciones específicamente dirigidas al ámbito educativo. Las exigencias en cuanto a seguridad, confiabilidad, integridad e inmutabilidad de la información se perciben como menores respecto a otros sectores, tales como finanzas, banca, medicina u otros, por lo que, en general, las innovaciones tecnológicas se adoptan, históricamente, con cierto retardo.

Tal como se indica en Cerdeño (2020), la mayor parte de los posibles usos de la BT se encuentran en fase experimental en el sector educativo. El autor resalta los siguientes casos de uso:

- Registro y matriculación de estudiantes. El empleo de la BT para esta funcionalidad es quizá la más extendida a tenor de la presencia en diversos trabajos (Bartolomé y Lindin, 2019; Gartner, 2019).
- Emisión de certificados por parte del centro educativo.
- Consulta de calificaciones.
- Custodia de cursos y ponencias.
- Salvaguarda de publicaciones.
- Registro de créditos (Turkanović *et al.*, 2018): este caso de uso es realmente innovador, pues permite al estudiante ir realizando diversos cursos, los cuales quedan registrados en una plataforma BT y son accesibles para los distintos interesados o *stakeholders*. Se puede decir que la plataforma BT actúa a modo de entidad virtual certificadora de la trayectoria seguida por el estudiante en su periplo formativo, de modo que cada vez que el alumno finaliza un curso o alcanza determinado grado, este queda registrado en la plataforma, lo cual permite la individualización de la formación. Es decir, cada estudiante se podría construir su propio itinerario formativo en uno o varios centros –con las consideraciones legales o del ministerio de educación pertinente– de una forma altamente flexible y sencilla.

Si bien la BT está aún en un estado muy incipiente, algunos centros reconocidos a nivel internacional están realizando distintos proyectos piloto para mostrar sus capacidades. Entre estos centros destacan la Open University (Turkanović *et al.*, 2018) y el Massachusetts Institute of Technology (MIT) (Alammary *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2018):

- La utilización de BT en todo el proceso de matriculación, pago, graduación y envío de diplomas digitales con el fin de generar una serie de procesos sin consumo de papel (Jirgensons y Kapenieks, 2018). Esto es, aplicar BT más allá de la mera extensión de certificaciones digitales de un grado o de un máster.
- Permitir la consulta por parte de cualquier entidad reconocida y autorizada de las calificaciones y certificaciones de un estudiante. Ello elimina la necesidad de departamentos administrativos que gestionen las peticiones, optimizando así

los recursos de las entidades (Schär y Möslí, 2019). En fases posteriores se pretende la implementación de herramientas de integración de sistemas que permitan la interconexión automatizada de estas bases de datos para facilitar los procesos de matriculación, la solicitud y autorización de becas o la consulta de calificaciones, entre otros. La idea que hay detrás de estas iniciativas es la de simplificar y acelerar los procesos y la gestión de los datos de los estudiantes mediante la utilización de los datos almacenados en la infraestructura BT.

- Registro de actividades realizadas por los estudiantes que requieran la emisión de certificaciones. Por ejemplo, actividades extraescolares, talleres o asistencia a teleconferencias (Chen *et al.*, 2018).
- Recaudación de fondos de las actividades voluntarias realizadas por estudiantes mediante criptodivisas, es decir, un depósito virtual en criptomoneda donde depositar las ganancias de las actividades basadas en economía colaborativa desempeñadas de forma altruista por los estudiantes (Chen *et al.*, 2018).
- Mantener un registro del expediente de cada estudiante, no solo de calificaciones, sino de todas las actividades desempeñadas por el mismo durante su etapa en el centro. Por ejemplo, registrar posibles cargos estudiantiles ocupados durante la etapa formativa, sanciones, premios o cualquier otra vicisitud que merezca la pena reseñar en su historial (Alammary *et al.*, 2019).

Como se puede observar, no existe un caso de uso específico dedicado a la remisión remota de exámenes. Por tanto, considerando la inmutabilidad de los registros en BT, la alta seguridad demostrada por dicha tecnología y la disponibilidad de plataformas abiertas para la implementación de nuevos proyectos de innovación sobre la misma, el objetivo es demostrar la viabilidad de la tecnología para su uso en el proceso de examinar de forma *online* al estudiante.

1.2. Objetivo

Basándonos en el planteamiento expuesto anteriormente, pretendemos dar respuesta a la siguiente pregunta:

¿Es posible emplear BT para la realización remota de exámenes garantizando la confidencialidad, integridad, accesibilidad y, sobre todo, la inmutabilidad del examen enviado a la universidad?

La confidencialidad, la integridad y la accesibilidad se obtienen normalmente a partir del empleo de protocolos de red y cifrado seguros, pero, una vez el examen está en poder del centro, es preciso garantizar que este no será alterado. Esto es, aunque los protocolos

de red y una correcta configuración de los sistemas de seguridad permiten garantizar que el mensaje enviado desde el nodo cliente (estudiante) no se verá alterado, no existe garantía (más allá de los controles de acceso a la base de datos) de que el examen almacenado en los sistemas de la universidad no puede ser alterado: si un intruso malintencionado decidiera alterar la base de datos, el fraude solo podría ser detectado desde la propia universidad (o por el estudiante), pero el resto de agentes participantes no serían conscientes de dicha alteración.

Por otra parte, se debe garantizar que los usuarios interesados pueden acceder al examen en cualquier momento y que estos lo hacen de forma transparente a la BT, es decir, no precisan de conocimientos técnicos para operar sobre una infraestructura subyacente a la BT.

Por todo ello, las restricciones que impondremos se resumen en los siguientes puntos:

- **Restricción 1.** La solución ha de estar basada en arquitecturas *software* abiertas y/o gratuitas para garantizar el acceso a las mismas y la aplicación de la solución en todos los estamentos educativos intervinientes. Con esta restricción se trata de prevenir el efecto que tendría exigir una solución de pago o privativa en alguno de los órganos intervinientes; por ejemplo, en las autoridades educativas o en los propios centros educativos.
- **Restricción 2.** La prueba se ha de poder ejecutar sobre plataformas *hardware* estándar, basadas en PC (*personal computer*) o requerimientos similares, quedando excluidas soluciones que incorporen necesariamente el uso de servidores *ad hoc* o de prestaciones elevadas. El objeto de esta restricción es prevenir que el coste de los recursos haga inviable la solución desde un punto de vista económico.
- **Restricción 3.** La infraestructura BT ha de ser completamente transparente para los usuarios intervinientes (estudiantes, docentes, etc.). Esta restricción persigue evitar el mal de «adopción de la tecnología» por el que multitud de soluciones no llegan a implantarse dadas las dificultades de incorporación de tecnologías emergentes en las organizaciones.
- **Restricción 4.** Se ha de garantizar el acceso a la información (examen) por cualquiera de los intervinientes en el proceso que tuviera derecho a ello.

Con estas restricciones, reformulamos la pregunta anterior de la siguiente manera:

¿Es posible emplear BT para la realización remota de exámenes garantizando la confidencialidad, integridad, accesibilidad y, sobre todo, la inmutabilidad del examen enviado a la universidad, satisfaciendo simultáneamente las restricciones 1 a 4 indicadas previamente?

En los siguientes apartados se expone inicialmente el estado del arte en cuanto a la aplicación de BT para la mencionada finalidad. Posteriormente, se presenta la arquitectura propuesta como solución y se explican las principales cuestiones técnicas. En último lugar, se aborda un caso de uso con la arquitectura presentada y se termina con las conclusiones y las posibles mejoras futuras.

2. Materiales y métodos

El objetivo del trabajo es dar respuesta a la pregunta sobre la viabilidad de emplear BT para remitir exámenes *online* garantizando los parámetros anteriormente indicados, principalmente el de inmutabilidad del examen remitido. Para abordar el problema se expondrá la propuesta de una arquitectura, desarrollo y prueba de un proyecto piloto para validar si la BT puede ser utilizada para el registro de exámenes realizados remotamente. Esto es, se aplica la BT a la remisión remota de exámenes para garantizar la inviolabilidad e inmutabilidad de las entregas realizadas por estudiantes en un contexto real. La solución propuesta se basa en el diseño de una arquitectura BT, desarrollo de los componentes *software* necesarios y prueba de concepto en función de un proyecto piloto sobre un marco de trabajo estándar. El siguiente apartado expone dicha arquitectura y las bases del desarrollo. A continuación, se muestran las evidencias de la prueba realizada y los resultados y las conclusiones. Por último, los posibles trabajos futuros sobre la misma.

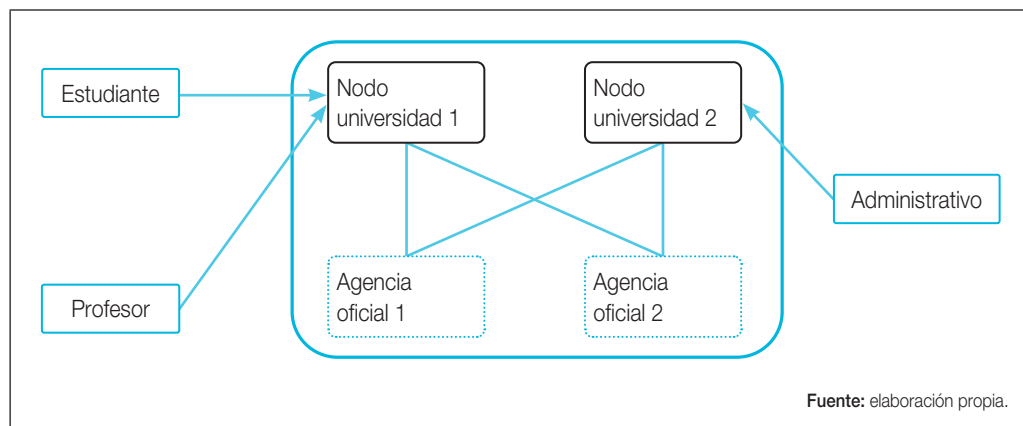
2.1. Elementos organizativos

Como se ha comentado anteriormente, la necesidad de desarrollar actividades de forma remota, ya sea en el entorno académico o laboral, es creciente. Para ello, el valor de la BT es indudable. Un aspecto esencial de esta tecnología es la fiabilidad de los datos y de las operaciones desarrolladas sobre ella, de modo que la responsabilidad se encuentra compartida entre todos los nodos participantes. Es decir, no existe un punto centralizado de gestión y almacenamiento de datos, sino que los múltiples nodos de cada entidad participante juegan un rol de usuario y guardián de la información simultáneamente. Dicho de otra forma, las entidades son usuarias de la información replicada en cada uno de los nodos que conforman la red. Aplicado al caso de un entorno académico, se propone la creación de un consorcio de entidades con la capacidad de garantizar esta fiabilidad: una de las entidades será la universidad y la otra corresponderá a una entidad oficial (ministerio, agencia, otra universidad, Administraciones

La necesidad de desarrollar actividades de forma remota, ya sea en el entorno académico o laboral, es creciente. Para ello, el valor de la BT es indudable. Un aspecto esencial de esta tecnología es la fiabilidad de los datos y de las operaciones desarrolladas sobre ella, de modo que la responsabilidad se encuentra compartida entre todos los nodos participantes

públicas, etc.). Cada una de estas entidades contará con un par de nodos BT con los que validar las transacciones desarrolladas por los roles participantes en cada entidad, tales como profesores, estudiantes o administrativos (véase figura 1).

Figura 1. Esquema de ejemplo de consorcio de entidades



2.2. Elementos tecnológicos

2.2.1. Marco de trabajo

El marco de trabajo que emplearemos se denomina «*hyperledger fabric framework*» (HFF), que es el marco de referencia para proyectos basados en BT desarrollados por las grandes corporaciones de la industria del *software* (Baldi *et al.*, 2019). Este marco de referencia es el que dará soporte a todas y cada una de las entidades participantes en el proyecto piloto que a continuación se expone. Las principales características de HFF se pueden resumir en los siguientes puntos:

- El *framework* provee de una red permissionada.
- Provee del acceso y validación sobre una base de certificaciones estándar (si bien en el proyecto piloto se emplea X.509).
- Es modular y escalable, por lo que resulta sencillo incorporar nuevos agentes y entidades (*stakeholder*) a la red.
- Dota de las capacidades de Blockchain a las empresas y agencias participantes (IBM, 2019) interesadas en gestionar e intercambiar los recursos disponibles en la red, así como en crear grupos de recursos compartidos descentralizados.

En la solución propuesta, la red BT soportada por HFF se compone de organizaciones que tienen uno o más nodos participantes en la red y a los cuales se conectan las aplicaciones de usuario de cada organización. Estas aplicaciones hacen uso de las características antes enumeradas a través de los contratos inteligentes o *smart contracts* instalados en dichos nodos.

En la solución propuesta, la red BT soportada por HFF se compone de organizaciones que tienen uno o más nodos participantes en la red y a los cuales se conectan las aplicaciones de usuario de cada organización

El marco de trabajo empleado permite definir divisiones lógicas en las entidades participantes acotando el alcance de cada entidad dentro de la red. Esto es, se pueden realizar divisiones virtuales en el marco de trabajo –llamadas «canales»– que facilitan la tarea de acotar cuáles son los *smart contracts* a los que una organización tiene acceso. No obstante, se permite que una organización tenga acceso a varios *smart contracts*.

La regulación de los *smart contracts* se realiza mediante un registro denominado *ledger* (que podríamos asimilar a un libro contable) instalado en el nodo que da acceso a la red BT (Hyperledger Fabric, 2022).

Según este modelo, se crea un canal en el que participan las organizaciones necesarias –en este caso, universidades y agencias regulatorias o de auditoría– que requieren validar y acceder a los exámenes. La creación de un contrato inteligente es el mecanismo que permitirá el registro de un examen con todos los atributos y propiedades anteriormente citados: identificación del estudiante que ha realizado el examen, materia, fecha, dirección IP (*internet protocol*) del dispositivo desde el que se realiza el examen y cualquier otro dato que fuera necesario para guardar junto con el propio documento de examen. Dicho contrato inteligente establecido con la red BT es el que permitirá la validación del examen con la certeza de que este no ha sido modificado ni alterado en ningún momento.

Según este modelo, se crea un canal en el que participan las organizaciones necesarias –universidades y agencias regulatorias o de auditoría– que requieren validar y acceder a los exámenes. La creación de un contrato inteligente es el mecanismo que permitirá registrar un examen con todos los atributos y propiedades: identificación del estudiante que realiza la prueba, materia, fecha, dirección IP del dispositivo desde el que se hace el examen, etc.

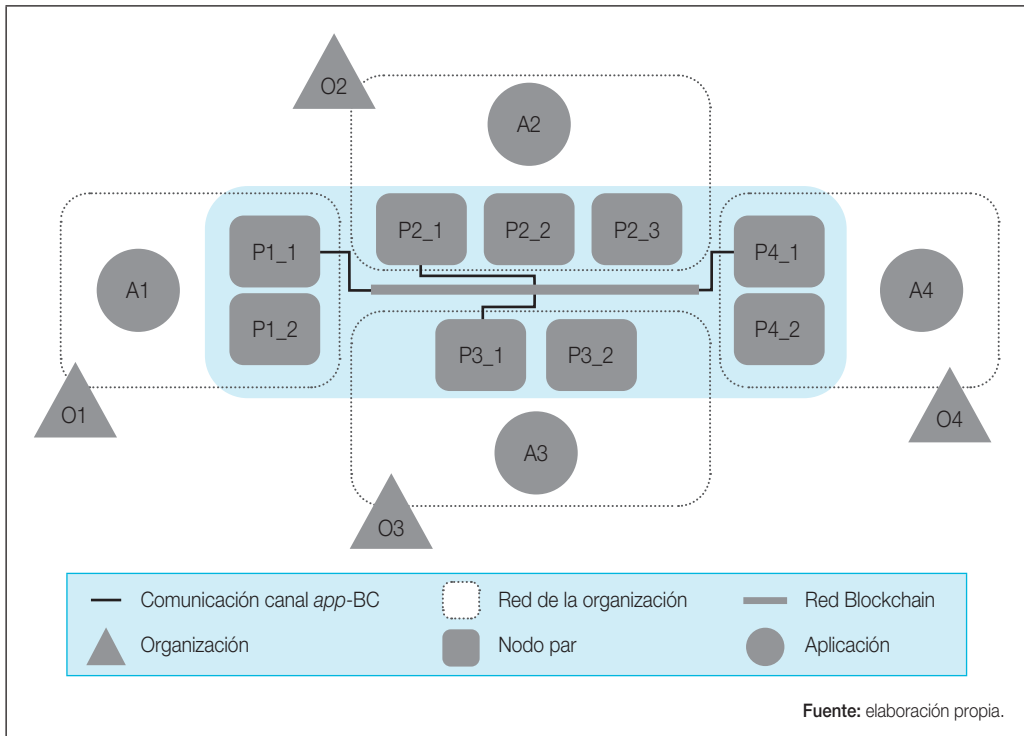
La arquitectura propuesta involucra diferentes tecnologías, marcos de trabajo y lenguajes de programación. Debido a las limitaciones impuestas por una prueba de concepto, se ha optado por replicar el comportamiento de los nodos (universidades, agencias, etc.) mediante máquinas virtuales con sistema operativo Linux, debido a que la BT de HFF exige dicho requisito. En cuanto al resto de requisitos, cabe citar el empleo del lenguaje Go, en entorno Docker y Docker Compose, así como un cliente Git. Las partes correspondientes al *front end* y al *back end* se han desarrollado bajo el marco Angular y NodeJS.

Una vez indicados los marcos de trabajo empleados, lenguajes y herramientas, en el siguiente apartado se detalla la arquitectura implementada.

2.2.2. Arquitectura

La figura 2 muestra el esquema de la red de BT propuesta. En dicha figura se observa cómo las organizaciones tienen un nodo encargado de las comunicaciones con la red permissionadas de BT. Dicho nodo actúa a modo de puente o *router* con la infraestructura BT. En el caso de instituciones, dicho nodo puede ser cualquiera que tenga el *software* necesario para el envío y la recepción de paquetes desde la red permissionada. No obstante, en el caso de una persona física, dicho *software* solo puede estar instalado en su ordenador personal, desde el que realizará la comunicación con la red BT.

Figura 2. Esquema de la red BT propuesta



En relación con la implementación propiamente dicha de las aplicaciones y de los servicios necesarios para la provisión del servicio, podemos indicar que se basa en la creación de microservicios, lo cual confiere la modularidad, escalabilidad y agilidad en el mantenimiento

necesarios. Las capas de negocio, vistas, red y capa BT se muestran en la figura 3. Estas propiedades son esenciales para garantizar el correcto mantenimiento de la aplicación.

La implementación inicial se basa, tal y como se apuntó previamente, en el empleo de contenedores (The Linux Foundation, 2020). Cada contenedor representa un par o nodo de red, así como el conjunto de servicios que el mismo ofrece: bases de datos que almacenan el último estado del mensaje, los nodos de ordenamiento y los nodos de certificación (llamados «nodos autoridad de certificación» o «nodos CA»). En cuanto a los nodos de ordenamiento cabe citar la responsabilidad de los mismos para gestionar y añadir las transacciones de todos los nodos o pares participantes, y concatenarlas en el *ledger*, asegurando que el bloque añadido a la cadena es correcto. Esto no resta generalidad al piloto que se propone, puesto que son réplicas de máquinas físicas reales.

En relación con la implementación de las aplicaciones y de los servicios necesarios para la provisión del servicio, se basa en la creación de microservicios, lo cual confiere la modularidad, escalabilidad y agilidad en el mantenimiento necesarios

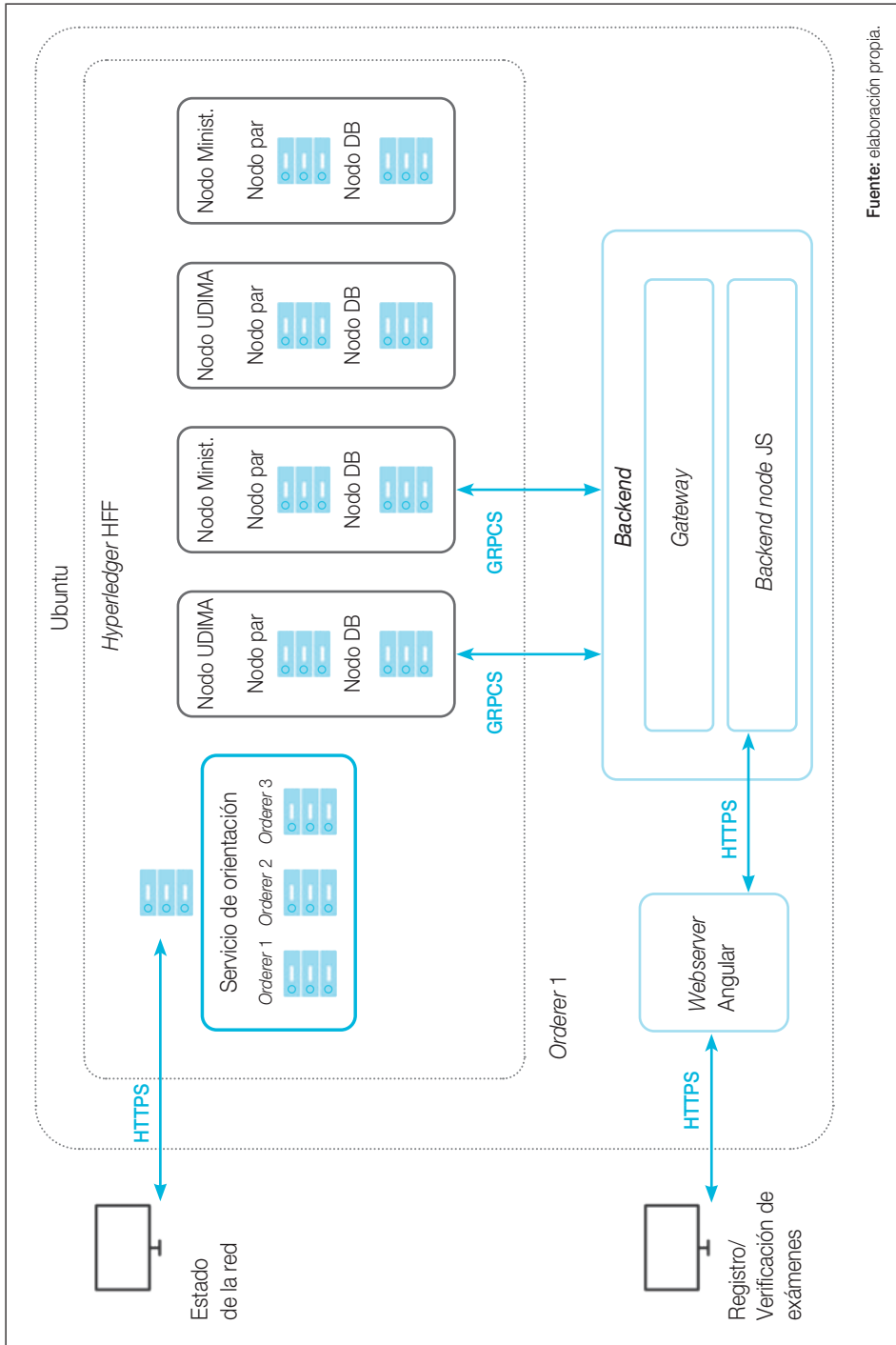
Si bien cada nodo representa un nodo independiente en una red real, en la prueba de concepto desarrollada se ha implementado todo en una misma máquina física con diferentes máquinas virtuales alojadas

Si bien cada nodo representa un nodo independiente en una red real, en la prueba de concepto desarrollada se ha implementado todo en una misma máquina física con diferentes máquinas virtuales alojadas; no obstante, el mecanismo empleado para conectar los nodos, así como los protocolos de comunicación y el acceso se realizan de forma análoga a como se llevarían a cabo en un entorno de producción real. La única diferencia reside en que cada nodo debería estar gestionado por una entidad diferente (universidad, agencia, ministerio, etc.).

El despliegue de la infraestructura se ha llevado a cabo mediante la creación de un contenedor por cada entidad: autoridades de certificación, nodos de ordenamiento, bases de datos y nodos par. Una vez realizado el despliegue, el siguiente paso ha consistido en la configuración del sistema criptográfico, lo cual se realiza mediante los propios mecanismos provistos por HFF. Una vez configurado, la implementación del canal de comunicación se ha llevado a cabo mediante una secuencia de comandos que agrega cada organización al canal.

Como resultado de estos pasos, se dispone de un conjunto de nodos par, nodos ordenantes, nodos certificadores CA, un canal de comunicación, así como de una base de datos necesarios para simular el comportamiento de un sistema real. Es decir, se ha replicado por completo el ecosistema de educación en un único *host* manteniendo aisladas las mismas entidades que en el mundo real (mediante máquinas virtuales) y estableciendo los mismos cauces de comunicación que existirían en la vida real (basados en BT, entre las máquinas virtuales).

Figura 3. Diagrama de arquitectura

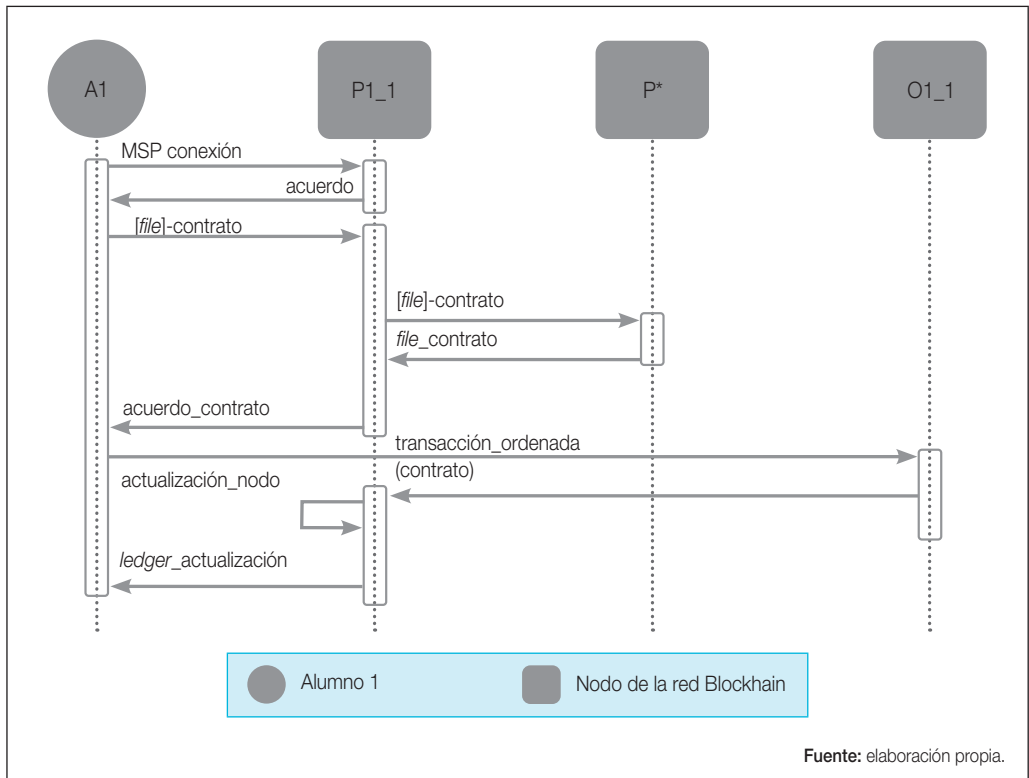


Fuente: elaboración propia.

2.2.3. Mensajería

El diseño del intercambio de mensajería para posibilitar la subida de un fichero, en concreto de un examen, queda reflejado en la figura 4. La transacción se inicia por el usuario que utiliza su propia interfaz para subir el examen. Cuando el usuario ordena remitir el examen, se envía un mensaje al nodo par en su organización (denotado como «MSP»). Después de ello, la propuesta de transacción que representa la remisión del examen se presenta a la red mediante un contrato inteligente que se envía a todos los nodos pertenecientes a la misma red BT. Evidentemente, la respuesta originada del resto de nodos es idéntica, ya que el *ledger* es común para todos ellos. En la prueba desarrollada se asume que no se generan datos de forma aleatoria ni se invocan servicios externos (podrían generar respuestas diferentes de cada nodo). Una vez comprobado que el contrato es válido y coherente con los datos en el *ledger*, el nodo par devuelve la respuesta de aceptación al cliente o usuario. Desde este momento, la aplicación cliente puede remitir la transacción al nodo de ordenación que añadirá la transacción (y eventualmente otras transacciones pendientes) al bloque para que sea concatenada al bloque previo que estuviera en disposición del *ledger*.

Figura 4. Intercambio de mensajería



2.2.4. Interfaz de usuario

La prueba de concepto desarrollada requiere del desarrollo de una interfaz de usuario con la que completar las transacciones y verificar la inmutabilidad de los envíos realizados. En primer lugar, se desarrolla una interfaz para que el estudiante pueda remitir el examen bajo la plataforma BT. La figura 5 (véase parte superior) muestra dicha pantalla. La arquitectura subyacente antes expuesta se encarga de forma transparente del envío del fichero de examen. El *back end* de la aplicación es el encargado de gestionar el contrato con el *ledger* y obtener el número identificativo del envío dentro de la red BT. Dicho número acreditativo o registro es el que se muestra en la figura 5 (véase parte inferior) mediante el desarrollo de una interfaz que permite al usuario la comprobación del mismo.

En segundo lugar, se ha dotado a la aplicación de una funcionalidad que permite a los *stake holder* o interesados verificar que el examen ha sido debidamente registrado en la infraestructura Blockchain. Cualquier operación (consulta, modificación, borrado, etc.) que se desee realizar se gestiona desde el nodo de certificación AC, pues es el máximo responsable de la información ante la red BT.

En el siguiente apartado expondremos los resultados de las pruebas realizadas empleando el esquema propuesto para un caso de uso de envío de un examen a una red BT.

Figura 5. Interfaz de usuario y confirmación de registro de exámenes

Auditor de exámenes

+ Registro de examen Comprobar examen

Subir examen

Nombre
S. P. N.


Asignatura
Física

Examen
Seleccionar archivo Examen_fisica_2021.pdf

Registrar

[+ Registro de examen](#) [Comprobar examen](#)

Examen registrado en Blockchain
Red Universidades-Ministerio



Escuela de Ciencias Técnicas e Ingeniería

Alumno: S. P. N.
Asignatura: Física
Firma de examen: 9834876dcfb05cb167a5c24953eba58c4ac89b1adf28f2f9d09af107ee8f0
Fecha de registro: 8/1/21 - 10:51 AM
Firma de transacción: 2fd08112fa6fc0cefc9610eb7b925f2b1c7dcbf715bbf6207f84b7eeeb12

[Descargar PDF](#)

Fuente: elaboración propia.

3. Resultados

Una vez que tenemos la arquitectura desplegada, es preciso comprobar que satisface los requerimientos demandados y que efectivamente la arquitectura puede ser empleada como un canal seguro de transmisión de exámenes. Para ello, se han definido una serie de test con los que validar las funciones indicadas en el apartado anterior. Brevemente, cada test se compone de un fichero en formato PDF que se envía a través de la interfaz de usuario definida a tal efecto.

La mejor forma de verificar que la transacción ha sido incluida en la red Blockchain es a través de la propia herramienta de exploración de HFF. Esta provee un mecanismo de revisión de las transacciones que proporciona los detalles de la misma: fecha, nodos de validación, entidades, firmas e identificación del fichero, entre otros datos. La figura 6 muestra un ejemplo de revisión de los detalles de la transacción.

La mejor forma de verificar que la transacción ha sido incluida en la red Blockchain es a través de la propia herramienta de exploración de HFF. Esta provee un mecanismo de revisión de las transacciones que proporciona los detalles de la misma

Pasemos a continuación a examinar los resultados obtenidos en la prueba de concepto. En primer lugar, desde el punto de vista de la funcionalidad, el proceso ha resultado ser sumamente sencillo para los intervinientes; la complejidad de enviar el fichero no se ha visto incrementada por el hecho de emplear una plataforma BT subyacente. Esto aísla al usuario de la base tecnológica necesaria para implementar los mecanismos de Blockchain, es decir, para el usuario ha resultado completamente transparente el envío de ficheros mediante la tecnología BT, consiguiendo además la propiedad de inmutabilidad mencionada como objetivo inicial.

Esta característica de inmutabilidad del envío y de su almacenamiento representa la principal característica de la solución propuesta: ni el estudiante, ni el profesor ni, por supuesto, ninguno de los demás intervinientes en el proceso pueden alterar el examen una vez ha sido remitido por el alumno. Podemos, por ello, olvidar los problemas asociados al almacenamiento de exámenes: el examen no se puede perder, alterar ni borrar, con lo que hemos eliminado las dudas que envuelven los envíos *online* sin ningún tipo de mecanismo que garantice la inviolabilidad de los mismos. Con esto se han resuelto los problemas derivados de dudar acerca del contenido del examen remitido por el estudiante o de las posibles manipulaciones por parte del docente: el examen se almacena tal cual es enviado por el alumno y no es posible ningún tipo de alteración de su contenido, ya que el mecanismo de almacenamiento distribuido de la propia tecnología impide dicha manipulación

En segundo lugar, otro de los requisitos consistía en que dicho examen estuviera, si así se configuran los mecanismos de seguridad, accesible a los interesados en el proceso, ya sean personal de administración, otros profesores o tribunales u otra universidad o agencia estatal de validación o verificación. La posibilidad de acceso a los exámenes a través de la interfaz provista sobre la infraestructura BT ha permitido que los agentes puedan consultar el examen tal cual fue enviado inicialmente por el estudiante.

En cuanto a la tecnología, los resultados muestran que es posible emplear un marco de trabajo abierto en términos de *software* y de *hardware*, entendiéndose con ello que el acceso tanto a las máquinas físicas como a los sistemas operativos y a las licencias para la implementación del proyecto piloto es factible haciendo uso de soluciones libres y/o gratuitas. Ello representa una notable ventaja sobre otras posibles propuestas que requieren la contratación de *hardware* y/o *software* de terceros bajo un licenciamiento privado de pago.

La característica de inmutabilidad del envío y de su almacenamiento representa la principal característica de la solución propuesta: ni el estudiante, ni el docente ni ninguno de los demás intervinientes en el proceso pueden alterar el examen una vez que este ha sido enviado

La posibilidad de acceso a los exámenes a través de la interfaz provista sobre la infraestructura BT ha permitido que los agentes puedan consultar el examen tal cual fue enviado inicialmente por el estudiante

Figura 6. Detalles de la ejecución de la transacción

Transaction ID:	2fd08112fa6fc0cefc9610eb7b925f2b1c7dcbf715bbf6207f84b7eeeb12c82e
Validation code:	ENDORSEMENT_POLICY_FAILURE
Payload proposal hash:	848e3c0121fb12d33bf4964580451676f173966ac5410561a345321352395cee
Creator MSP:	UdimaMSP
Endoser:	{"MinisterioMSP", "UdimaMSP"}
Chaincode name:	exam_auditer
Type:	ENDORSER_TRANSACTION
Time:	2021-01-08T09:51:53.465Z
Reads:	<ul style="list-style-type: none">▼ root: [] 2 items<ul style="list-style-type: none">▶ 0: {} 2 keys▶ 1: {} 2 keys
Writes:	<ul style="list-style-type: none">▼ root: [] 2 items<ul style="list-style-type: none">▶ 0: {} 2 keys▼ 1: {} 2 keys<ul style="list-style-type: none">chaincode: "exam_auditer"▼ set: [] 1 item<ul style="list-style-type: none">▼ 0: {} 3 keys<ul style="list-style-type: none">key: "9834876dcfb05cb167a5c24953eba58c4ac89b1adf28f2f9d09af107ee8f0"is_delete: false▼ value: {} 2 keys<ul style="list-style-type: none">type: "Buffer"

Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, los esfuerzos de integración necesarios para la consecución del proyecto piloto los podemos considerar como de tipo medio. Ha sido necesario manejar diferentes *frameworks* y lenguajes de programación, así como los conceptos de Blockchain, para un desarrollo que llevó en

Ha sido necesario manejar diferentes *frameworks* y lenguajes de programación, así como los conceptos de Blockchain, para un desarrollo que llevó en torno a cuatro meses de trabajo

torno a cuatro meses de trabajo. No obstante, la posible aplicación del proyecto piloto es plausible en cualquier entorno educativo (universidades, institutos, entidades de acreditación, etc.). Las posibilidades de replicación de la arquitectura propuesta son inmediatas en función de las tecnologías empleadas y de los esquemas de integración seguidos –basados en estándares ampliamente empleados en el mercado–.

Los requerimientos exigibles a nivel de plataforma *hardware* se ha evidenciado que son de nivel medio bajo. De hecho, tal y como se ha mostrado, ha sido posible desarrollar el proyecto piloto en un portátil con el despliegue de máquinas virtuales en el mismo. Ello no implica necesariamente que los recursos necesarios para un despliegue en producción deban ser estos, pues ello dependerá de la cantidad de elementos que haya que procesar. No obstante, queda demostrado que no se requieren servidores de alta capacidad para el procesamiento de las transacciones BT. Cabe indicar que las verificaciones realizadas evidenciaron un alto consumo de la CPU (*central processing unit*) antes que de memoria, red o disco duro.

Referente también a la arquitectura propuesta, es preciso indicar que es posible replicar la misma bajo un modelo «*as is*» con la sola adecuación de los requerimientos de *hardware*. Desde el punto de vista de sistemas operativos, licencias, *software* y comunicaciones, no se requerirá nada adicional a lo propuesto en el proyecto piloto de prueba.

Los resultados obtenidos en este trabajo abren la puerta a futuros desarrollos, siguiendo la misma arquitectura, que doten a los centros de formación universitaria de los procesos necesarios y de la seguridad requerida para el desarrollo de la actividad docente con plenas garantías en el ámbito de los exámenes, de las actividades, de las defensas de trabajos de fin de grado o de otras actividades que deba realizar el alumnado.

4. Discusión de resultados. Trabajos futuros

4.1. Análisis de resultados

La prueba de concepto presentada permite evaluar la posibilidad de implementar una solución basada en Blockchain para resolver la integridad, confidencialidad e inmutabilidad de los ficheros de examen remitidos remotamente a un centro educacional. Aunque en el caso del ejemplo se ha realizado en un centro universitario, se podría haber empleado cualquier centro examinador oficial.

La prueba de concepto presentada permite evaluar la posibilidad de implementar una solución basada en Blockchain para resolver la integridad, confidencialidad e inmutabilidad de los ficheros de examen remitidos remotamente

Desde el punto de vista tecnológico, los pasos necesarios para implementar una infraestructura BT se presentan y prueban bajo un marco de entornos y plataformas abiertas, libres de licenciamientos privados y con plena disponibilidad para todos los usuarios que deseen hacer uso de la misma. La independencia de plataformas con soluciones privadas facilita la integración de la solución en otras arquitecturas, al tratarse de sistemas abiertos, con estándares de mercado conocidos y no sujetos a protocolos propietarios que limiten la interacción con otros sistemas de gestión y bases de datos.

El proyecto piloto ha presentado unos resultados positivos alcanzando los objetivos propuestos al inicio de la investigación. Los usuarios pueden beneficiarse de la arquitectura propuesta, simplificando el proceso de un envío garantizado e inmutable en su destino

La infraestructura requerida para la realización de la prueba es sencilla y la extrapolación a un entorno de producción resulta inmediata sin más que la adecuación del *hardware* necesario. Se debe hacer constar que evidentemente los recursos necesarios dependen de los servicios que deba atender la universidad. En esta prueba se ha valorado exclusivamente la factibilidad de la solución propuesta, dejando para futuros trabajos de investigación el análisis del consumo de recursos que la misma requiere.

El proyecto piloto ha presentado unos resultados positivos alcanzando los objetivos propuestos al inicio de la investigación. Los usuarios pueden beneficiarse de la arquitectura propuesta, simplificando el proceso de un envío garantizado e inmutable en su destino. Se debe entender en este contexto que «usuario» es cualquiera de los *stakeholder* o interesados en acceder a la información del examen remitido al centro por el estudiante (otra universidad, agencias, profesores, etc.).

Tal y como se ha indicado previamente, las posibilidades de extensión de la funcionalidad incorporada en este proyecto piloto resultan inmediatas considerando las posibilidades de integración mencionadas. En ese sentido, la no limitación de las ventajas de la BT al estudiante y a la universidad supone una notable ventaja. Esto es, la incorporación de terceros a la plataforma BT ha resultado factible dentro de los parámetros de tiempo manejados, eliminando con ello una posible barrera que podría suponer una nueva tecnología como BT.

Las posibilidades de aplicación cubren una parte de las reticencias que por parte de las agencias evaluadoras se indican respecto a los exámenes *online*, en tanto solicitan una prueba fehaciente de envío y no manipulación de los exámenes remitidos por los estudiantes.

Es obvio que no todos los problemas que presenta la realización de exámenes *online* se pueden resolver con esta propuesta, pero, claramente, los relacionados con la inmutabilidad de la información almacenada quedan perfectamente resueltos.

Es importante también destacar que el éxito de la plataforma reside en que se ha conseguido una completa funcionalidad sin, por ello, trasladar al usuario una mayor complejidad en la operativa. Esto es, se ha conseguido aislar completamente al usuario de BT, aunque tome provecho de ella.

Este aspecto es vital para conseguir el éxito de la BT: trasladar la complejidad de la misma al usuario o no hacerla completamente transparente para el usuario hubiera supuesto un hándicap difícilmente superable.

En función de estos resultados podemos responder a la pregunta que se planteó en el apartado 1.2 y si se satisfacen las restricciones impuestas¹:

- **Respuesta a la pregunta.** La respuesta a la cuestión planteada acerca de la viabilidad de emplear BT para el envío de exámenes es afirmativa. La evidencia a tal respuesta se encuentra en la misma prueba realizada, en la que se ha hecho uso de BT para proveer una plataforma de realización de exámenes de forma remota.
- **Restricción 1.** Se satisface en tanto no ha sido necesario emplear *software* que implique la compra de productos de terceros o la adquisición de licencias. Toda la solución se basa en arquitecturas abiertas, tal y como se evidencia en el repositorio (véase nota 1). Dicha restricción, por tanto, se satisface.
- **Restricción 2.** Tal y como se ha indicado, no ha sido necesario adquirir *hardware* específico de altas prestaciones. La réplica del experimento en un ordenador de gama media es inmediata a partir de las fuentes contenidas en el repositorio (véase nota 1). Dicha restricción, por tanto, también se satisface.
- **Restricción 3.** El proceso de envío de exámenes ha sido absolutamente transparente para el usuario. Se han aportado las interfaces de usuario empleadas en la prueba por el usuario en las que no ha sido necesario absolutamente ningún conocimiento por parte del usuario final acerca de BT para hacer uso de la tecnología. Dicha restricción, por tanto, también se satisface.
- **Restricción 4.** La última restricción es fácilmente verificable, bien a partir de las evidencias en forma de interfaz de usuario aportadas o bien mediante la réplica experimental a partir de las fuentes contenidas en el repositorio (véase nota 1). Dicha restricción, por tanto, también se satisface.

Concluimos así que la pregunta inicial ha sido contestada de forma afirmativa y que las restricciones han sido todas ellas satisfechas.

¹ El material adicional para descargar, validar y probar la prueba de concepto se encuentra en el siguiente repositorio: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4567984>

4.2. Líneas futuras de trabajo

La prueba realizada ha permitido evaluar la posibilidad de implementar una solución basada en BT para resolver el problema de la inmutabilidad de un envío remoto de examen en una entidad universitaria. Desde el punto de vista tecnológico se ha presentado la solución que permite resolver el problema y se ha validado el resultado de la misma. Sin embargo, la migración a un entorno real de trabajo requiere del estudio de algunos aspectos que a continuación se indican:

Desde el punto de vista tecnológico, en este artículo se presenta la solución que permite resolver el problema planteado; sin embargo, la migración a un entorno real de trabajo requiere del estudio de otros aspectos

- Es preciso analizar los consumos de recursos de la solución propuesta para la optimización de la misma. Tal y como se ha podido constatar, el recurso CPU es con diferencia el que tiene mayores exigencias, por lo que se hace imprescindible analizar el comportamiento en entornos reales con múltiples usuarios demandando el mismo recurso para la introducción de los exámenes en la plataforma BT.
- En segundo lugar, es necesario estudiar el comportamiento ante caídas intermedias de los nodos de comunicación. Por ejemplo, qué sucede cuando el mensaje ya ha sido enviado por el estudiante, pero alguno de los nodos intermedios de comunicación sufre una caída de servicio. O, también, qué sucede ante una latencia extremadamente alta en la respuesta del servicio por una sobredemanda puntual en el servidor.
- Una parte de las dificultades que aparecerán provendrá del hecho de que los diferentes intervinientes o *stakeholders* dispondrán de recursos que tratarán de emplear en la infraestructura. Por ejemplo, servidores, sistemas operativos, bases de datos, etc. Si bien la plataforma es suficientemente abierta y flexible, se hace necesario investigar las posibles incidencias que pudieran emerger derivadas del hecho de emplear sistemas heterogéneos.
- Por otra parte, relacionado con el punto anterior, la mantenibilidad del sistema es un aspecto esencial. Dada la cantidad de elementos que forman parte de la solución (sistemas operativos, *software*, bases de datos, lenguajes de programación, etc.), la mantenibilidad del sistema requiere de una muy refinada gestión de la configuración. Es preciso, máxime tratándose de sistemas de computación distribuidos, un esfuerzo importante para la actualización adecuada de los sistemas.
- Asimismo, se hace necesario analizar cuestiones legales sobre la solución propuesta. Dado que la información está distribuida en la red, se debe prestar especial atención a cómo y dónde se guardan los datos y a qué sucede si parte de los datos están en nodos ubicados en países con leyes distintas en cuanto al tratamiento de la información y la protección de los datos.

- Por último, al tratarse de una tecnología emergente es preciso dar difusión a la misma (en forma de cursos, charlas, conferencias, ponencias, etc.) para que un mayor número de entidades se adhieran a su uso masivo y de este modo se saque mayor provecho de la misma. Si bien el uso se está expandiendo poco a poco, es preciso realizar una labor de divulgación y formación sobre la misma, lo cual facilitará su adopción por parte de las entidades. La creación de un consorcio que haga un uso masivo de la misma debe estar basada en el conocimiento y en la confiabilidad en dicha tecnología.

Referencias bibliográficas

- Alammary, A., Alhazmi, S., Almasri, M. y Gillani, S. (2019). Blockchain-based applications in education: a systematic review. *Applied Science*, 9, 1-18. <https://doi.org/10.3390/app9122400>
- Antonucci, F., Figorilli, S., Costa, C., Pallottino, F., Raso, L. y Menesatti, P. (2019). A review on Blockchain applications in the agri food sector. *Journal of the Science and Food Agriculture*. <https://doi.org/10.1002/jfsa.9912>
- Arnold, M. (15 de septiembre de 2016). La banca acelera el uso del Blockchain. *Expansión*. <https://goo.gl/yNYwyJ>
- Baldi, M., Chiaraluce, F., Kodra, M. y Spalazzi, L. (2019). *Security analysis of a Blockchain-based protocol for the certification of academic credentials*. Cornell University. [arXiv: 1910.04622](https://arxiv.org/abs/1910.04622)
- Bartolomé, A. y Lindin, C. (2019). Blockchain possibilities in education. *Education in Knowledge Society*, 19(4), 81-93. <https://doi.org/10.14201/eks20181948193>
- Behrens, A. (9 de febrero de 2018). BerkleeCE's open music initiative to host music and rights management Blockchain events. *Blockchain News*. <https://goo.gl/CmnqLS>
- Bettín-Díaz, R., Rojas A. E. y Mejía-Moncayo, C. (2018). Methodological approach to the definition of a Blockchain system for the food industry supply chain traceability. En O. Gervasi, B. Murgante, S. Misra, E. Stankova, C. M. Torre, A. M.^a A. C. Rocha, D. Taniar, B. O. Apduhan, E. Tarantino e Y. Ryu (Eds.), *Computational Science and Its Applications-ICCSA 2018. Lecture Notes in Computer Science* (Vol. 10.961). Springer.
- Blockchain Observatory. (2019). <https://observatorioblockchain.com/blockchain/blockchain-irrumpe-en-el-negocio-de-las-plataformas-de-streaming-de-la-mano-de-creadores-y-usuarios/>
- Budet Jofra, X. y Pérez Gómez, A. (2018). Innovaciones tecnológicas en la cadena de suministro aplicadas al eCommerce. *Oikonomics*. <https://comein.uoc.edu/divulgacio/oikonomics/es/numero09/dossier/xbudet-aperez-2.html>
- Cerdeño, J. (2020). How Blockchain could impact education in 2020 and beyond? *Getting Smart*. <https://www.gettingsmart.com/2020/02/23/how-blockchain-could-impact-education-in-2020-and-beyond/>

- Chen, W., Xu, Z., Shi, S., Zhao, Y. y Zhao, J. (2018). A survey of Blockchain applications in different domains. *International Conference of Blockchain and Applications. ICBTA* (pp. 17-21). Xi'an (China). <https://doi.org/10.1145/3301403.3301407>
- Docker Docs. (2013-2021). <https://docs.docker.com/get-started/overview/>
- Ferrer-Sapena, A. y Sánchez-Pérez, E. A. (2019). Aplicaciones de la tecnología Blockchain en la documentación científica: situación actual y perspectivas. *El Profesional de la Información*, 28(2), 1-11.
- Gartner. (2019). *CIO Survey*. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/cio-agenda-2019-exploit-transformational-technologies/>
- Gelles, M. G. (2020). How to handle the risk of insider threats post-COVID-19. *TechTarget*. <https://searchcio.techtarget.com/feature/How-to-handle-the-risk-of-insider-threats-post-COVID-19>
- Haugsbakken, H. y Langseth, I. (2019). The Blockchain challenge for higher education institutions. *European Journal of Education*, 2(3), 41-46. <https://revistia.org/index.php/ejed/article/view/4503>
- Herrington, J. y Parker, J. (2013). Emerging technologies for authentic learning. *British Journal of Educational Technology*, 44(4), 607-615. <https://doi.org/10.1111/bjet.12048>
- Hyperledger Fabric. (2020). *A Blockchain Platform for the Enterprise*. <https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-2.2/>
- Hyperledger Foundation. (2022). <https://www.hyperledger.org/use/fabric>
- IBM. (2020). *IBM Blockchain Platform*. https://www.ibm.com/uk-en/cloud/blockchain-platform?mhsrc=ibmsearch_a
- Indu, A. (2019). Implementation of Blockchain technology in education sector: a review. *International Journal of Research and Analytical Review*, 6, 351-355.
- Jaoude, J. A. y Saade, R. (2019). Blockchain applications-usage in different domains. *IEEE Access*, 7, 45.360-45.381. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2902501>
- Jirgensons M. y Kapenieks J. (2018). Blockchain and the future of digital learning credential. Assessment and management. *Journal of Teacher Education for Sustainability*, 20(1),145-156.
- Karale, A. y Khanuja, H. (2019). Blockchain technology in education system: a review. *International Journal of Computer Applications*, 178(38), 19-22.
- Kaur, J. y Oswal, J. (2020). A review of Blockchain technology in education. *A Journal of Composition Theory*, 13(4), 392-400.
- Lokanath, M., Tushar, G. y Abha, S. (2020). Online teaching-learning in higher education during lockdown period of COVID-19 pandemic. *International Journal of Educational Research Open*, 1, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2020.100012>
- Meng, W., Wang, J., Wang, X., Liu, J., Yu, Z., Li, J., Zhao, Y. y Chow, S. (2018). Position paper on blockchain technology: smart contract and applications. *Proceedings of 12th International Conference on Network and System Security* (pp. 474-483). Hong Kong.
- Milasi, S., González-Vázquez, I. y Fernández-Macías, E. (2020). Telework in the EU before and after the COVID 19: where we were, where we head to. *Science for Policy Briefs*. European Commission. <http://www.tool-alfa.com/wp-content/uploads/2021/09/2021-04%20Telework%20in%20the%20EU%20before%20and%20after%20the%20COVID-19.pdf>
- Morales, T. (24 de noviembre de 2017). Cadena de bloques. Cómo vender 25 toneladas de atún en 140 minutos gracias a Blockchain. *Retina. El País Economía*.

- Mykytyn, P. (2020). COVID-19 and its impacts on managing information systems. *Information Systems Management*, 37(4), 267-271. <https://doi.org/10.1080/10580530.2020.1818900>
- Navas Bayona, W. I., Loor Zambrano, H. Y. y Amen Chinga, C. R. (2020). La consolidación del Blockchain en las empresas como método de pago para sus transacciones. *Revista Investigación y Negocios*, 13(22), 135-144. http://www.scielo.org/bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2521-27372020000200014
- Olaizola Arregui, I. (2020). *Estado del arte de la aplicación de la tecnología Blockchain en la Cadena de Suministro* (Trabajo fin de máster). Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/189124>
- Papadopoulos, T., Baltas, K. y Balta, M. E. (2020). The use of digital technologies by small and medium enterprises during COVID-19: implications for theory and practice. *International Journal of Information Management*, 55. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102192>
- Río., C. A. del. (2017). Use of distributed ledger technology by central banks: a review. *Enfoque UTE*, 8(5), 1-13. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n5.175>
- Schär F. y Mösl F. (2019). Blockchain diplomas: using smart contracts to secure academic credentials. *Beiträge zur Hochschulforschung*, 41, 48-58.
- Steu, M.-F. (2020). Blockchain in education: opportunities, applications and challenges. *First Monday*, 25(9). <https://doi.org/10.5210/fm.v25i9.10654>
- Turkanovič, M., Hölbl, M., Košič, K., Heričko, M. y Kamišalič, A. (2018). EduCTX: a Blockchain-based higher education credit platform. *IEEE Access*, 6, 5.112-5.127. <https://doi.org/10.1109/access.2018.2789929>
- Zheng, S., Wang Y., Chen, X. y Wang, H. (2017). An overview of blocking technology: architecture, consensus and future trends. *2017 IEEE International Congress on Big Data (BigData Congress)*, pp. 557-564. <https://doi.org/10.1109/BigDataCongress.2017.85>

Juan Luis Rubio Sánchez. Profesor de la Escuela de Ciencias e Ingeniería de la Universidad a Distancia de Madrid, UDIMA, ha desarrollado su actividad profesional en distintas multinacionales del sector de la tecnología. Su área de investigación se centra en el estudio de sistemas, herramientas y metodologías de gestión para las organizaciones, de forma especial para los centros educativos. <https://orcid.org/0000-0003-2762-6428>