

Desarrollo de un repositorio de certificación basado en Blockchain para la evaluación de una asignatura de grado

Pedro A. Castillo¹, Pablo García-Sánchez², M. Carmen Aguilar-Luzón³, Julia García Cabello⁴, and Enrique Herrera-Viedma⁵

¹ Department of Computer Architecture and Technology, CITIC
University of Granada, Spain

`pacv@ugr.es`

² Department of Computer Science and Engineering. ESI
University of Cádiz, Spain

`pablo.garciasanchez@uca.es`

³ Department of Social Psychology
University of Granada, Spain

`maguilarluzon@ugr.es`

⁴ Department of Applied Mathematics
University of Granada, Spain

`cabello@ugr.es`

⁵ Department of Computer Science and Artificial Intelligence
University of Granada, Spain

`viedma@decsai.ugr.es`

Abstract. La tecnología Blockchain se puede entender como una base de datos distribuida en Internet, sin un control central, con una serie de características que transformarán la gobernanza, la economía, el funcionamiento de las organizaciones y, por supuesto, la educación. En Blockchain la información se almacena en forma de bloques, con un alto nivel de seguridad que evita la manipulación de la información almacenada. Debido a las oportunidades que ofrece en el mundo digital, han surgido varias aplicaciones piloto para utilizar esta tecnología en la educación. Por ejemplo, mediante el uso de la cadena de bloques, se han creado varios proyectos para proporcionar a los estudiantes diplomas digitales o certificados de estudios. En este trabajo se propone la creación de un repositorio de certificación basado en Blockchain que pueda ser utilizado por una institución educativa para incorporar información sobre la carrera y trayectoria que han desarrollado los estudiantes, tales como asignaturas cursadas, competencias y habilidades obtenidas, logros, cursos o estancias realizadas. Concretamente se propone una aplicación distribuida para almacenar y certificar las calificaciones obtenidas por un estudiante en una asignatura dada. Mediante el uso de la tecnología de Blockchain garantizamos la transparencia y la confianza, facilitando así a los formadores y empleadores en el futuro, de forma abierta y certificada, comprobar qué objetivos ha cumplido cada estudiante.

Palabras clave: Blockchain, Repositorio de Certificación, Docencia Grados Universitarios, Evaluación, Transparencia

Abstract. Blockchain is a distributed database, with no central control, spread across many computers that could transform governance, the economy, the functioning of organisations, and of course education. Information is stored in form of blocks, protected by complex algorithms that are hard to hack and cannot be manipulated. Due to the opportunities it offers in the digital world, several pilot applications have emerged in order to use this technology in education. For example, using blockchain, several projects have been created to provide students with digital diplomas and certificates of studies. The idea is to implement a distributed registry in which information about the career and path that a student has been doing (subjects, competencies, achievements, courses, grades, stays) is incorporated. By using blockchain technology we ensure transparency and trust, thus making it easier for trainers and employers in the future, in an open and certified way, to see what objectives each student has met. The management of these digital titles would allow to link them with the complete register of competences and abilities surpassed by each student in any institution.

Keywords: Blockchain, Certification Repository, University Education, Evaluation, Transparency

1 Introducción

La tecnología Blockchain (BC) está basada en una red descentralizada y segura que puede facilitar la transmisión y el almacenamiento de datos [1, 2]. BC es una tecnología basada en una topología peer-to-peer (P2P) que permite a diferentes tipos de usuarios crear y mantener un registro inalterable de transacciones, cada una de ellas sellada y vinculada a la anterior, de forma que, cada vez que se añade información, se convierte en otro bloque en la cadena [3] (ver Figura 1). Tal y como está desarrollada, es una tecnología de una sola escritura que permite añadir infinitos bloques de datos, lo que la convierte en un registro verificable y auditable de todas y cada una de las transacciones.

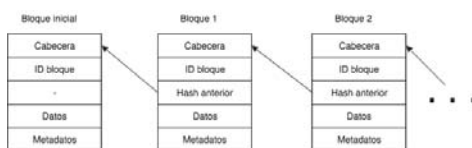


Fig. 1. Esquema de la cadena de bloques en una red blockchain.

En los últimos años ha despertado un gran interés y se espera que suponga un gran avance tecnológico a nivel empresarial y de investigación, como lo fue la inteligencia artificial, la IoT y la VR. En realidad, representa un nuevo paradigma

para la forma en que se comparte la información, lo que permitirá el crecimiento de estas últimas tecnologías.

En realidad, esta tecnología no se espera que reemplace a las bases de datos relacionales corporativas, pero sí abre nuevas puertas para el almacenamiento de datos dentro y fuera de las empresas de una forma global. Permitirá el flujo de activos digitales de forma segura, lo que añadirá valor a muchos procesos industriales y aplicaciones tecnológicas.

Hasta el momento, diversas industrias han comenzado a realizar implementaciones usando esta tecnología de cadena de bloques para el almacenamiento de registros y transacciones básicas, pero sobre todo hay expectativas de nuevas aplicaciones en el mundo real en los próximos años, sobre todo en industrias como la logística y el transporte, corporaciones financieras, asistencia sanitaria y hasta pagos móviles.

Sin embargo, la clave para una innovación más efectiva pasa por estandarizar la tecnología e integrar múltiples plataformas y herramientas de BC dentro de una cadena de valor. Esto proporcionaría a las industrias plataformas para desarrollar ideas y utilizar el sistema para crear las aplicaciones tecnológicas más avanzadas para su uso en todas las empresas.

Inicialmente BC se asoció a Bitcoin principalmente, y se usó para transferencias financieras debido a la seguridad que garantiza [4, 5]. Sin embargo, no hay razón para que no se aplique a otras estructuras de datos que necesiten registros ordenados, e incluso utilizarla como parte de un sistema de almacenamiento y recuperación de información y documentos. Es más, recientemente se han desarrollado algunos proyectos innovadores para aplicar esta tecnología en el ámbito educativo [6].

En cualquier caso, diversos expertos destacan el estado incipiente de desarrollo de esta tecnología [7, 8], por lo que no se espera que a corto plazo aparezcan despliegues totalmente operativos y a gran escala que reporten beneficios directos a las empresas. Aunque sí supondrá, a corto-medio plazo, un medio de garantizar transparencia y la capacidad de crear redes de comunicación seguras y en tiempo real entre socios de todo el mundo para dar soporte a todo tipo de servicios.

En este trabajo proponemos la creación de un sistema de certificación basado en la tecnología BC para incorporar información sobre la trayectoria que han desarrollado los estudiantes durante su vida académica, tales como asignaturas cursadas, competencias y habilidades obtenidas o cursos realizados, y posteriormente durante su vida laboral sobre logros o proyectos desarrollados.

El resto del artículo está estructurado como sigue: En la Sección 2 se presenta un análisis de las aplicaciones en diferentes ámbitos en las que se ha propuesto usar BC. A continuación, en la Sección 3 se muestra el funcionamiento general de Hyperledger Fabric como software de desarrollo para implementar la red BC, y a continuación se detalla la arquitectura del prototipo propuesto, así como el proceso de creación, configuración y puesta en marcha del mismo. Por último, se presentan una serie de conclusiones y trabajos futuros (Sección 4).

2 ¿Cómo sacar partido de la tecnología blockchain en el ámbito educativo?

Debido a lo prometedor de BC, esta tecnología ha sido utilizada en los últimos años, además de para desarrollar criptomonedas, en campos como los sistemas de tarjetas de crédito [9] o bancarios [10], el comercio internacional [11], el registro de derechos de autor [12], en sistemas de transparencia [13] o para mantener registros de personas de manera segura en ámbitos como la salud [14, 15].

Esta tecnología puede ser la base que dé soporte en el ámbito educativo [16, 17], facilitando a formadores la herramienta para certificar conocimientos, competencias y grados adquiridos, al tiempo que facilite a los empleadores la información requerida para determinar si el CV de un candidato es adecuado y si las cualificaciones requeridas son válidas.

Así, varias instituciones educativas han desarrollado programas piloto para emitir diplomas a sus estudiantes mediante la tecnología BC. Como ejemplo destacaremos el proyecto "Blockcerts Wallet" del MIT [18] que facilita a los estudiantes mantener y compartir sus propios registros oficiales directamente con otras personas o instituciones de una manera segura y a prueba de manipulaciones. Proyectos similares se han puesto en marcha en las universidades de Nicosia (Chipre) o en la University College London [19].

Por otro lado, dentro del proyecto OpenBlockchain [20, 21] de la Knowledge Media Institute (KMI) de la Open University se han venido planteando ideas sobre cómo gestionar certificados para dar soporte al aprendizaje personalizado, sin llegar a poner en marcha un producto general.

Finalmente, hay iniciativas privadas, como el proyecto de Sony Global Education, para crear bases de datos centralizadas de credenciales y logros que den soporte a una población de estudiantes y trabajadores con mayor movilidad a nivel internacional, que necesitan un sistema que no esté sujeto a pérdidas o a fraude. [22].

En cualquier caso, aún muchas instituciones educativas ven la tecnología del BC como algo experimental, con la que podrían perder cierto control (centralizado) sobre sus registros y datos. Además, surgen problemas relativos a la privacidad y el acceso a ciertos datos sensibles, lo que unido a la complejidad actual de la tecnología y a la falta de estándares reales limita la posible entrada de la tecnología en el ámbito educativo.

En este trabajo se propone un sistema de certificación basado en BC, a modo de proyecto piloto, para gestionar la información sobre los logros, competencias y habilidades obtenidas por estudiantes durante el desarrollo de una asignatura.

3 Prototipo desarrollado

En esta sección se lleva a cabo una recopilación de las plataformas y herramientas de desarrollo principales para desplegar redes BC, ya sean públicas o privadas (subsección 3.1).

A continuación, se detalla la arquitectura y funcionamiento general de Hyperledger Fabric como software de desarrollo para implementar la red BC en este trabajo (subsección 3.2).

Finalmente, se detalla la arquitectura del prototipo propuesto en este trabajo, así como el proceso de creación, configuración y puesta en marcha del mismo (subsección 3.3).

3.1 Plataformas y herramientas de desarrollo

Mientras que algunos grupos de la industria trabajan en la estandarización de versiones de software de BC, también hay muchas empresas que están trabajando en sus propias versiones de esta tecnología.

Así, existen diversas plataformas con diferente nivel de aceptación entre los investigadores y desarrolladores [23]:

- El Proyecto Hyperledger de la Fundación Linux es una colaboración de código abierto entre diversas empresas líderes de la industria en los campos de las finanzas, la banca, e IoT en un esfuerzo por obtener un estándar. La principal herramienta del proyecto es Hyperledger Fabric.
- Ethereum es una plataforma abierta que permite la construcción, despliegue y uso de aplicaciones descentralizadas basadas en BC.
- Multichain es una plataforma para la creación e implementación de BC privados, ya sea dentro o entre organizaciones.
- IBM Bluemix Blockchain es parte del catálogo de servicios de Bluemix. Está construido sobre HyperLedger.
- Azure BaaS (Blockchain as a Service): parte del catálogo de servicios de Microsoft Azure Cloud. Ofrece diversas opciones, desde la creación de prototipos de desarrollo rápido hasta aplicaciones empresariales.

Cualquiera de estas plataformas/herramientas permiten desarrollar, bien redes BC públicas que pueden ser gestionadas de forma autónoma para intercambiar información entre los nodos sin necesidad de una administración centralizada, o bien para crear una red BC privada. Esto último permite a las empresas crear y administrar sus propias redes transaccionales que pueden utilizarse entre empresas socias o exclusivamente dentro de una misma empresa.

3.2 Arquitectura de Hyperledger Fabric

En nuestro prototipo proponemos usar Hyperledger Fabric como herramienta de desarrollo de la BC, ya que su arquitectura ofrece las siguientes ventajas:

- Flexibilidad en el desarrollo de las aplicaciones de cadena de bloques, de forma que diferentes conjuntos de nodos pueden responder a diferentes peticiones, lo que mejora la robustez de la red ante la posible caída de algún nodo.
- Escalabilidad en la ejecución de peticiones de actualización o de obtención de datos en la cadena.

- Confidencialidad en el tratamiento de datos y ejecución de transacciones con requisitos de confidencialidad determinados.
- Modularidad de la arquitectura, lo que permite integrar diferentes implementaciones de consenso.

La arquitectura del sistema de Hyperledger Fabric consiste en un sistema distribuido entre muchos nodos que se comunican entre sí, y en los que se ejecutan aplicaciones, se almacenan datos y se ejecutan transacciones (asociadas a smart-contracts o contratos inteligentes).

El funcionamiento de un BC desarrollado sobre Hyperledger Fabric se basa en la ejecución de aplicaciones y smart-contracts para actualizar un almacén de datos (ledger o libro mayor), usando certificados digitales (emitidos por una autoridad certificadora), que permiten a las aplicaciones interactuar con la red BC.

En el prototipo desarrollado se hace uso del sistema de desarrollo de Hyperledger Fabric para ejecutar smart-contracts que realizan peticiones al almacén de datos, concretamente peticiones de información (lectura) y de actualización (escritura).

Las herramientas incluidas en la plataforma facilitan las labores iniciales de configuración del BC: crear la cadena de bloques inicial, lanzar el contenedor de smart-contracts, gestionar las autoridades de certificación, y distribuirlo todo entre los nodos de la red.

De esta forma, cada nodo en la red BC aloja una copia del almacén de datos junto con la aplicación que permite hacer consultas al mismo invocando smart-contracts que consultan el valor más reciente del almacén de datos y lo devuelven al usuario a través de la aplicación. La Figura 2 muestra el funcionamiento básico así como la estructura de una red blockchain.

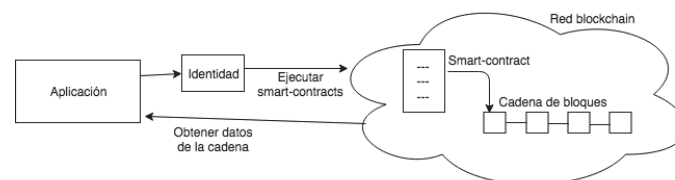


Fig. 2. Estructura básica de una red blockchain.

Las consultas más comunes en una red BC se utilizan para extraer (leer) los valores actuales de los datos en el almacén, su estado actual, representado como un conjunto de pares clave-valor. Este tipo de consultas se denomina "transacción", en las que se ejecuta un contrato inteligente para consultar cierto dato en la copia del libro mayor del nodo al que se ha realizado la consulta, que devuelve el resultado a la aplicación. En la Figura 3 se muestra el proceso seguido en la ejecución de una petición de lectura de datos a la red blockchain.

Por otro lado, para actualizar la BC (operaciones de escritura para añadir o modificar un dato), la aplicación envía una transacción a la red BC y una

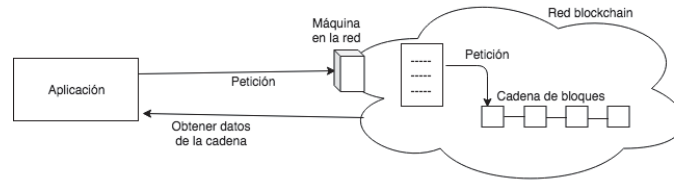


Fig. 3. Proceso seguido en la ejecución de una petición de datos a la red blockchain.

vez validada, la aplicación recibe una notificación de que la transacción se ha realizado correctamente, quedando los datos actualizados. La Figura 4 muestra el proceso seguido en la ejecución de una transacción de actualización de los datos de la red blockchain.

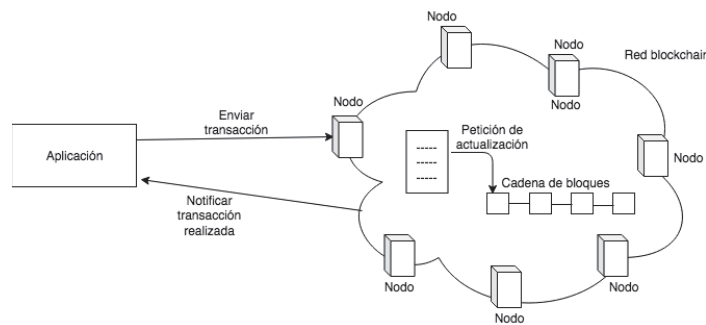


Fig. 4. Proceso seguido en la ejecución de una transacción de actualización de los datos de la red blockchain.

3.3 Configuración y despliegue del sistema propuesto

La arquitectura del blockchain desarrollado se basa en implementar un "smart-contract" llamado *edu Smart Contract* (eduSC) que incluye varias funciones (ver la Tabla 1).

En el momento de instanciarlo en la red blockchain se ejecuta el método "Init", que crea las estructuras de datos y llama a la función "initLedger" para inicializar el almacén de datos.

Por otro lado, el método "Invoke" se ejecuta como resultado de una solicitud al smart-contract; recibe además el nombre de la función específica a ejecutar junto con los argumentos necesarios, y ejecuta la función especificada.

El resto de funciones incluidas en el smart-contract *eduSC* permiten crear un nuevo registro en el almacén de datos (función "create"), solicitar la información relativa a un registro (función "queryOne"), o todos los registros a la vez (función "queryAll").

Cada registro almacenado en la red blockchain consta de los siguientes campos (cadenas de caracteres): tipo, nombre completo, curso, nota de teoría, nota de prácticas.

Función	Descripción
Init	Crea las estructuras de datos básicas.
initLedger	Inicializa el almacén de datos al inicio.
Invoke	Recibe las solicitudes al smart-contract y ejecuta la función que se le especifica.
create	Crea un nuevo registro en el almacén de datos.
queryAll	Solicita la información relativa a un registro.
queryOne	Solicita todos los registros a la vez.

Table 1. Funciones incluidas en el smart-contract *eduSC*.

El despliegue de la red blockchain descrita se ha realizado en un sistema Ubuntu Server 16.04.6 64bits, siguiendo las instrucciones de instalación y configuración de Hyperledger Fabric dadas en la documentación de su página ¹ en GitHub.

Una vez la red blockchain está en ejecución en los nodos (ver Figura 5), quedan habilitadas varias funciones de acceso mediante llamadas al smart-contract *eduSC*.

Para ello se han desarrollado varios programas en node.js² que se pueden utilizar desde la shell de Linux. Sin embargo, y para facilitar el acceso a la plataforma blockchain y a los datos almacenados en ella se ha habilitado un servicio web creado en node.js (ver Figura 6).

De esta forma, a través de un navegador web se puede acceder a la plataforma blockchain para solicitar la información de un registro específico (ver Figura 7) o a todos los registros almacenados (ver Figura 8).

```

pedro ~/fabric/fabric-samples/edu $ ./startFabric.sh node
# don't rewrite paths for Windows Git Bash users
export MSYS_NO_PATHCONV=1

docker-compose -f docker-compose.yml down
Removing network net_basic
WARNING: Network net_basic not found.

docker-compose -f docker-compose.yml up -d ca.example.com orderer.example.com
peer0.org1.example.com couchdb
Creating network "net_basic" with the default driver
Creating orderer.example.com ... done
Creating couchdb ... done
Creating ca.example.com ... done
Creating peer0.org1.example.com ... done

# wait for Hyperledger Fabric to start
# incase of errors when running later commands, issue export FABRIC_START_TIMEOUT=
<larger number>
export FABRIC_START_TIMEOUT=10
#echo ${FABRIC_START_TIMEOUT}
sleep ${FABRIC_START_TIMEOUT}

# Create the channel
docker exec -e "CORE_PEER_LOCALMSPID=Org1MSP" -e "CORE_PEER_MSPCONFIGPATH=/etc
/hyperledger/msp/users/Admin@org1.example.com/msp" peer0.org1.example.com peer
channel create -o orderer.example.com:7050 -c mychannel -f /etc/hyperledger
/configtx/channel.tx
2019-03-02 18:54:38.659 UTC [channelCmd] InitCmdFactory -> INFO 001 Endorser and
orderer connections initialized
2019-03-02 18:54:38.777 UTC [channelCmd] InitCmdFactory -> INFO 002 Endorser and
orderer connections initialized
2019-03-02 18:54:38.997 UTC [main] main -> INFO 003 Exiting....
# Join peer0.org1.example.com to the channel.

```

Fig. 5. Creación de la red blockchain.

¹ <https://hyperledger.github.io/composer/latest/installing/installing-prereqs.html>

² <https://nodejs.org>


```

pedro ~/fabric/fabric-samples/edu $ node server.js
Store path: /home/pedro/fabric/fabric-samples/edu/hfc-key-store
Running on http://localhost:8080
Successfully loaded user1 from persistence
Requesting the item # 3
Query has completed, checking results
Response is
{"curso":"curso","nombre":"nombre","practicas":"practicas","teoria":"teoria","tipo":"estudiante"}

Successfully loaded user1 from persistence
Query has completed, checking results
Response is [{"Key":"0","Record":
{"curso":"1718","nombre":"pepe","practicas":"3","teoria":"6","tipo":"estudiante"}},
{"Key":"1","Record":
{"curso":"1819","nombre":"juan","practicas":"4","teoria":"5","tipo":"estudiante"}},
{"Key":"2","Record":
{"curso":"1819","nombre":"luis","practicas":"2","teoria":"3","tipo":"estudiante"}},
{"Key":"3","Record":
{"curso":"curso","nombre":"nombre","practicas":"practicas","teoria":"teoria","tipo":"estudiante"}}, {"Key":"4","Record":
{"curso":"1819","nombre":"PEDRO","practicas":"P3.0","teoria":"T3.0","tipo":"estudiante"}}]
    
```

Fig. 6. Ejecución del servicio web creado en node.js para facilitar el acceso a la plataforma blockchain.



Fig. 7. Acceso al servicio web habilitado para solicitar la información de un registro almacenado en la plataforma blockchain.

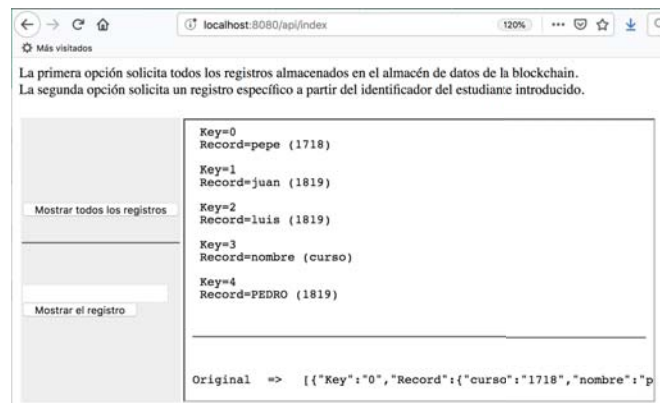


Fig. 8. Acceso al servicio web habilitado para solicitar todos los registros almacenados en la plataforma blockchain.

4 Conclusiones

Aún cuando BC sigue siendo una tecnología en pleno desarrollo, desde hace un tiempo se aprecian beneficios en aplicaciones reales. Específicamente en el ámbito educativo esta tecnología tendrá aplicaciones en el mundo de la educación a nivel individual, institucional, grupal, nacional e internacional. De hecho puede llegar a ser la base sobre la que desarrollar herramientas que ayuden a resolver las limitaciones de los sistemas de acreditación. Así, tener un sistema sencillo que registre la historia académica de un estudiante, antes y durante su vida laboral, no sólo puede ayudar a combatir la falsedad en los CVs, sino que también puede servir para potenciar el aprendizaje a medida.

En este sentido, en este trabajo se lleva a cabo una revisión de los diferentes usos de una tecnología prometedora como es BC en el ámbito educativo. Además, se propone una arquitectura de datos a modo de repositorio digital en el que almacenar diferentes registros del historial académico de los estudiantes a lo largo de su vida formativa o laboral.

BC facilitará la creación de registros digitales seguros y verificables de las cualificaciones de los estudiantes, obtenidas durante la carrera, así como de la experiencia y las competencias sociales adquiridas a lo largo de su vida.

Además, mediante el uso de contratos inteligentes, las aplicaciones distribuidas permitirán a los estudiantes tener un mayor control sobre su educación individual, ofreciendo un acceso flexible a recursos, contenidos y cursos en función de los éxitos o fracasos previos, así como a sus logros.

Como trabajo futuro planteamos ampliar el prototipo desarrollado con dos objetivos: dar cabida a todo el curriculum del estudiante, y no solo a los logros realizados en una asignatura, y gestionarlo mediante "smart contracts" que se resolverían una vez el estudiante adquiera ciertos conocimientos o competencias.

Acknowledgements

Este trabajo ha sido financiado en parte por el Ministerio español de Economía y Competitividad en el marco del proyecto TIN2017-85727-C4-2-P (UGR-DeepBio).

References

1. Pilkington, M.: Blockchain technology: Principles and applications. Research Handbook on Digital Transformations, edited by F. Xavier Olleros and Majlinda Zhegu. Edward Elgar. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2662660> (2016)
2. The promise of blockchain is a world without middlemen. Harvard Business Review (6/3/2017). <https://hbr.org/2017/03/the-promise-of-blockchain-is-a-world-without-middlemen>, accessed: 2019-02-21
3. Dwyer, G.P.: The economics of bitcoin and similar private digital currencies. Journal of Financial Stability 17, 81 – 91 (2015), <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1572308914001259>, special Issue: Instead of the Fed: Past and Present Alternatives to the Federal Reserve System
4. Back, A., Corallo, M., Dashjr, L., Friedenback, M., Maxwell, G., Miller, A., Poelstra, A., Timon, J., Wuille, P.: Enabling blockchain innovations with pegged sidechains. Blockstream 2014. <http://www.blockstream.com/sidechains.pdf>, accessed: 2019-02-21
5. Wright, A., De Filippi, P.: Decentralized blockchain technology and the rise of lex cryptographia. SSRN Electronic Journal (01 2015)
6. Bartolomé-Pina, A., Bellver-Torlà, C., Castañeda-Quintero, L., Adell-Segura, J.: Blockchain en educación: Introducción y crítica al estado de la cuestión. EDUTEC. Revista Electrónica de Tecnología Educativa, número 61, pp. 1-14. ISSN 1135-9250 (2017)
7. Mearian, L.: Blockchain: The complete guide. Computerworld Jan 29, 2019. <https://www.computerworld.com/article/3191077/security/blockchain-the-complete-guide.html>, accessed: 2019-02-21
8. Blockchain and the internet of things: the iot blockchain opportunity and challenge. i-scoop, February 2018. <https://www.i-scoop.eu/blockchain-distributed-ledger-technology/blockchain-iot/>, accessed: 2019-02-21
9. Arnold, M.: Visa invita a las entidades a probar su nuevo sistema de pagos bancarios basado en la tecnología del ‘bitcoin’. Expansion, Sept 2016. <http://www.expansion.com/economia-digital/innovacion/2016/09/15/57d190a322601d456d8b45cb.html>, accessed: 2019-02-22
10. Allison, I.: Bank of england: Central banks looking at ‘hybrid systems’ using bitcoin’s blockchain technology. International Business Time, Jul 2017. <https://www.ibtimes.co.uk/bank-england-central-banks-looking-hybrid-systems-using-bitcoins-blockchain-technology-1511195>, accessed: 2019-02-22
11. Morales, T.: Cadena de bloques. cómo vender 25 toneladas de atún en 140 minutos gracias a blockchain. Retina - El Pais Economía, Noviembre 2017. https://retina.elpais.com/retina/2017/11/27/innovacion/1511764546_361146.html, accessed: 2019-02-22

12. Behrens, A.: Berkleeice's open music initiative to host music and rights management blockchain events. Blockchain News, February 2018. <https://www.the-blockchain.com/2018/02/09/berkleeeices-open-music-initiative-host-music-rights-management-blockchain-events/>, accessed: 2019-02-22
13. Goswami, D.: Blockchain and the internet of things: the iot blockchain opportunity and challenge. Blog of Government Innovators Network, Harvard Kennedy School, Ash Center for Democratic Governance and Innovation, June 2016. <https://www.innovations.harvard.edu/blog/unchaining-blockchain-ultimate-transparency-tool>, accessed: 2019-02-22
14. Pérez, I.: Así puede ser el futuro del blockchain en la salud según las grandes empresas. Criptonoticias, Agosto 2016. <https://www.criptonoticias.com/aplicaciones/futuro-blockchain-salud-grandes-empresas/>, accessed: 2019-02-22
15. Go, C.: Blockchain and identity technologies. Medium, March 2018. <https://medium.com/@cathyguo.up/blockchain-and-identity-technologies-ac89df29dbf2>, accessed: 2019-02-22
16. Grech, A., Camilleri, A.: Blockchain in education. A. Inamorato dos Santos Ed. EUR 28778 EN; ISBN 978-92-79-73497-7 (2017)
17. Bartolomé, A., Lindín, C.: Posibilidades del blockchain en educación - blockchain possibilities in education. Education in the Knowledge Society (EKS) 19(4), 81–93 (2018)
18. Schmidt, P.: Blockcerts — an open infrastructure for academic credentials on the blockchain. GitHub 2016. <https://github.com/BlockTechCert/BTCert>, accessed: 2019-02-23
19. Koulaidis, V.: La tecnología blockchain como herramienta pedagógica. En A. Bartolomé, J.M. Moral-Ferrer: Blockchain en Educación. Cadenas rompiendo moldes, pp. 81-86. Barcelona: LMI. Colección Transmedia XXI (2018)
20. Sharples, M., Domingue, J.: The blockchain and kudos: A distributed system for educational record, reputation and reward. In: Verbert, K., Sharples, M., Klobočar, T. (eds.) Adaptive and Adaptable Learning. pp. 490–496. Springer International Publishing, Cham (2016)
21. KMI: Researching the potential of blockchains badges. Knowledge Media Institute - Open University, 2018. <https://blockchain.open.ac.uk/>, accessed: 2019-02-23
22. Clark, D.: 10 ways blockchain could be used in education. OEB Insights, Sept 2016. <https://oeb.global/oeb-insights/10-ways-blockchain-could-be-used-in-education/>, accessed: 2019-02-23
23. Purkayastha, S.: Eight blockchain platforms for rapid prototyping. radiostud, Sept 2018. <https://radiostud.io/eight-blockchain-platforms-comparison/>, accessed: 2019-02-24