

Aplicación de contratos inteligentes y blockchain como apoyo en la implementación de sistemas de gestión basados en ISO 9000.

Kristian Petkoff Bankoff , Ariel Pasini , Marcos Boracchia , Patricia Pesado 

Instituto de Investigación en Informática LIDI (III-LIDI)*

Facultad de Informática – Universidad Nacional de La Plata 50 y 120 La Plata Buenos Aires

*Centro Asociado Comisión de Investigaciones Científicas de la Pcia. de Bs. As. (CIC)

{kpb,apasini,marcosb,ppesado}@lidi.info.unlp.edu.ar

Abstract. A los términos blockchain y contratos inteligentes generalmente se los relaciona con temas financieros, pero existen otro tipo de aplicaciones que pueden aprovechar los beneficios de esta tecnología. Los sistemas de gestión de la calidad (SGC) requieren de la validación de autenticidad de documentos y evidencias de los procesos que podrían ser beneficiados con el uso de estas tecnologías. Se presenta una propuesta de aplicar contratos inteligentes para el control documental de un SGC y el resguardo de las evidencias generadas por el proceso del mismo.

Keywords: Blockchain, contratos inteligentes, Sistemas de gestión de la calidad, ISO 9001

1 Introducción

Con el auge que tienen en la actualidad los términos blockchain y contratos inteligentes muchas organizaciones buscan conocer estas tecnologías y evaluar la viabilidad de su uso como soporte para sus operaciones. Habitualmente se encuentran implementaciones relacionadas con las finanzas, la logística, trazabilidad de alimentos y medicamentos, soluciones de identificación/autorizaciones personales. Los sistemas de gestión (de la calidad, ambiental, de salud y seguridad en el trabajo, entre otros) por otra parte plantean una serie de procedimientos estandarizados para que las organizaciones mejoren sus procesos y optimicen sus operaciones con la premisa de documentar toda su información, trazabilidad de los procesos, seguimiento de objetivos y desvíos. La familia de normas ISO (International Organization for Standardization) relacionadas con los sistemas de gestión se ha ido adaptando para mantener una estructura estándar, con lo que hoy se encuentran similitudes generales entre las últimas versiones de las familias ISO 9000 (gestión de la calidad), ISO 14000 (gestión ambiental), ISO 22000 (seguridad alimentaria), ISO 27000 (seguridad

de la información), ISO 45000 (seguridad y salud en el trabajo), entre otras. Las organizaciones podrían optimizar el proceso de auditoría y de control de la documentación utilizando contratos inteligentes en una blockchain de la que participen las autoridades certificantes, de manera de mitigar las no conformidades por errores humanos en la gestión de documentos, con una solución adaptable a cualquiera de las normas citadas y las que tengan similitudes en general con ISO 9000.

En la sección 2 se desarrollan los conceptos generales de los contratos inteligentes y de blockchain. A continuación, características generales de los sistemas de gestión. Luego, se plantean puntos de contacto entre las necesidades de control y auditoría de los documentos y las soluciones que aportan estas tecnologías para plantear algunos casos de uso y analizar su viabilidad. Por último, se presentan las conclusiones.

2 Conceptos generales

2.1 Contratos inteligentes

Los contratos inteligentes son aplicaciones descentralizadas que ejecutan un algoritmo ante un evento con el propósito de hacer cumplir un acuerdo entre pares. Proponen digitalizar la celebración y ejecución de contratos legales con la premisa de que el objeto de contrato no es llevado a cabo si no se cumplen previamente las condiciones acordadas. El algoritmo garantiza que el objeto del contrato no se cumple si no están dadas las precondiciones y una vez registrada una transacción no debe permitirse su anulación.

Para lograr esta característica de inmutabilidad en las transacciones es habitual hoy en día el uso de blockchain como base de datos subyacente para la implementación de los contratos inteligentes. Esto es así ya que blockchain provee una estructura donde almacenar las transacciones (y los propios contratos, eventualmente) que es descentralizada, incremental e inmutable [1].

2.2 Blockchain

Blockchain es una estructura de datos en la que la información es agregada en bloques enlazados de manera que todo nuevo dato hace referencia al predecesor y además por medio de un algoritmo criptográfico se asegura la inmutabilidad de la cadena ya que un cambio en un bloque antecesor debería producir un cambio en cascada a todos los sucesores para mantener la validez de la estructura.

Esta tecnología surge para proveer la base sobre la que se almacena toda la información de las transacciones de Bitcoin, que además opera sobre una red de nodos descentralizados, en la que cada uno mantiene una copia completa de la cadena

y participa del proceso de validación de los nuevos bloques que se agregan a la misma [2].

La aplicación Bitcoin es un contrato inteligente y está respaldada por su estructura de datos subyacente Blockchain que posee características de integridad, inmutabilidad, anonimato, descentralización, y no confianza entre los nodos.

La no confianza entre los nodos que forman parte de la red (de la mano de la descentralización) implica que la disputa sobre la validez de las transacciones o bloques a agregar a la base de datos se debe resolver mediante un protocolo de consenso sin arbitraje de una entidad específica.

El mantenimiento de los datos y sobre todo el alta de nuevos bloques en la cadena generan algunas de las principales desventajas de su uso: el costo de las operaciones, la escalabilidad y vulnerabilidades propias del consenso. Agregar nuevos datos a una blockchain requiere que los nodos reciban y validen la operación (ejecutando las operaciones que el contrato inteligente determina), generen el nuevo bloque de datos y luego validen al bloque mediante algún algoritmo de consenso para finalmente sumarlo a la cadena. El aumento del costo se evidencia en todas las acciones adicionales que se realizan con respecto a una aplicación tradicional que solamente validaría los datos de entrada y registraría los resultados; además, existe una sobrecarga en la transferencia de información a través de la red que es otro costo extra al cómputo. Por otra parte, existen problemas en las distintas blockchains relacionados con la escalabilidad, ya que a medida que se agregan nodos, la operatoria se ralentiza significativamente en virtud de la necesidad de intercambiar información entre todos los pares. El algoritmo de consenso, por último, caracteriza significativamente la performance y la confiabilidad de la cadena de bloques; por una parte se necesita garantizar que un bloque es agregado solo si es validado por los pares, pero además este proceso debe realizarse con una velocidad que resulte aceptable y sin que un usuario malicioso pudiese apoderarse del consenso acaparando una cantidad de nodos (vulnerabilidad del 51%, situación en la cual un usuario podría forzar la aceptación de cadenas que contengan operaciones que le beneficien a pesar de que no sean válidas) [3,4].

2.3 Adopción de blockchain en organizaciones

Bitcoin surge como una alternativa para realizar operaciones financieras entre personas sin estar sujeto a las regulaciones de las entidades bancarias y los gobiernos. Sin embargo, el surgimiento de diversos proyectos despertó el interés de las propias entidades financieras que comenzaron a implementar blockchains para algunas de sus aplicaciones; el número de proyectos que se respaldan en esta tecnología continúa creciendo y distintos tipos de negocio se adaptan al uso de contratos inteligentes [4]. También existen experiencias de aplicación de blockchain para gobierno electrónico [5].

Con el uso de blockchain en organizaciones tanto privadas como públicas surge una caracterización de éstas como públicas, privadas, federadas, e incluso Blockchain-as-a-Service en proveedores de servicios en la nube. Una blockchain que no es pública permite circunscribir la red a nodos previamente autorizados a formar parte e incluso establecer quiénes pueden invocar funciones de los contratos inteligentes como contraposición a una cadena pública donde cualquier usuario puede invocar un contrato o formar parte de la red como nodo. Los esquemas privados, federados o de consorcios pueden suponer un consenso forzado por una autoridad central, pero estas implementaciones se fundamentan en el aprovechamiento de las otras características de blockchain [4], exceptuando así la no confianza entre nodos.

3 Sistemas de gestión de la calidad

Un sistema de gestión es un conjunto de documentos, formularios y registros que describen los procesos de una organización, los objetivos, los indicadores del cumplimiento de éstos y los procedimientos para registrar las mediciones. La Organización Internacional de Estandarización (ISO) define distintos marcos según la naturaleza de la organización o del ámbito específico al que se desea aplicar un sistema de gestión, enumerando una serie de documentos y procedimientos mínimos (y genéricos) a cumplimentar para alcanzar una certificación en la implementación del sistema.

La generalización de los documentos y procedimientos puede llevarse a un nivel mayor y extraer un factor común entre distintos tipos de sistemas de gestión; en todos ellos, por citar solo un ejemplo, se debe definir una política de calidad que orienta los objetivos, se deben registrar los cambios en cada documento del sistema generando números de versión incrementales y se debe guardar registro de la ejecución de los procedimientos verificando el uso de los medios que el mismo procedimiento (o el documento que corresponda) especifica.

Por otra parte, lo anterior debe cumplirse sin descuidar que en un sistema de gestión debe registrarse la detección y el tratamiento de los desvíos con respecto a los objetivos, ya que esto es en definitiva lo que coadyuva a alcanzar la mejora continua. Durante una auditoría, una de las principales actividades es, entonces, verificar que existan registros de esas mediciones, que los desvíos estén documentados y tratados, y además que se utilicen los documentos y formularios correctos para cumplir con estas tareas.

Si bien en principio la implementación de estos procesos de control genera un esfuerzo adicional, y sin perder de vista que se plantea un punto de contacto entre los sistemas de gestión y el uso de contratos inteligentes, también es cierto que la mejora en la calidad de las operaciones de la organización genera una optimización de sus costos [6].

3.1 Similitud entre sistemas de gestión de la calidad

Como se mencionó anteriormente, la propia ISO ha promovido en los últimos años cambios en sus estándares relacionados con la gestión de procesos de las organizaciones para extraer el factor común, estandarizando la propia estructura de sus normas. De esta manera aparecen conceptos comunes presentes en todas ellas y además una serie de capítulos que son iguales o equivalentes entre sí.

Si bien en versiones anteriores de normas como ISO 9001:2008 se exigía una estructura documental predeterminada (para los procesos de la organización, por ejemplo, en el llamado Manual de la calidad), este requisito también se ha modificado para dar paso a una mayor flexibilidad (concepto de Información documentada). Esto implica que ya no sea obligatorio, aunque sí recomendable, definir formalmente los procedimientos de la organización, sino que el requisito es contar con registros de los procesos y del tratamiento de las no conformidades.

Esta mayor flexibilidad supone un desafío para el desarrollo de aplicaciones de software genéricas que se adapten a cualquier contexto organizacional y estructura documental.

En líneas generales, en ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001 y otras se describe la terminología y el objetivo de cada estándar en sus primeros tres capítulos, dando paso luego a los requisitos específicos del sistema (de gestión de la calidad, de gestión ambiental, de gestión de seguridad y salud en el trabajo respectivamente en los tres ejemplos citados). Dadas las similitudes, las organizaciones pueden incluso proponerse la certificación de varias normas realizando cierto esfuerzo de adaptación y reutilización [7]. En la tabla 1 se muestra la estructura de estas normas en sus últimas versiones.

Tabla 1. Similitud en la estructura de las normas.

Capítulo	ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO 45001:2018
4	Contexto de la organización
5	Liderazgo y compromiso
6	Planificación
7	Soporte
8	Operación
9	Evaluación de desempeño
10	Mejora

En cada uno de estos capítulos se describe qué tipo de información se debe documentar; las normas no establecen ningún formato ni los detalles específicos, sino que sirven como una guía para que la organización pueda adaptar el sistema de gestión a su contexto particular. Por la naturaleza de cada clase de documento, la cantidad de partes interesadas en el aspecto que trata, quiénes son los responsables, cómo afecta (o describe) a los procesos operativos y de gestión del sistema se puede

elaborar un esquema de categorías según la cantidad de documentos y la frecuencia de actualización de versiones que suelen tener. Estas características son recopiladas en la tabla 2, donde se refleja la diferencia de volumen documental típica entre los capítulos y también la frecuencia de actualización que suelen tener los documentos que los componen, que finalmente repercute en los procesos de gestión y control de versiones del sistema documental.

Tabla 2. Visión comparativa de la cantidad de documentos y frecuencia de actualización entre los distintos capítulos.

Capítulo	Cantidad típica de documentos	Frecuencia de actualización
Contexto de la organización	Baja.	Muy baja.
Liderazgo y compromiso	Baja.	Muy baja pero con alta demanda de distribución y control de versión.
Planificación	Baja.	Baja.
Soporte	Moderada.	Moderada.
Operación	Alta.	Alta, con alta demanda de distribución y control de versión.
Evaluación de desempeño	Baja.	Baja.
Mejora	Baja.	Baja.

3.2 Dificultades comunes en el control de documentos y auditoría externa.

En el apartado anterior surge una problemática a la hora de implementar un sistema de gestión conforme con algunos estándares de ISO y superar una auditoría para su certificación o recertificación: el control documental en sí mismo, que es común a todos los tipos de sistemas y organizaciones, y que no forma parte de las incumbencias específicas de los procesos principales que se someten al control. No es extraño hallar durante un proceso de auditoría situaciones como el uso de un documento en una versión anterior a la vigente o bien documentos que a pesar de estar vigentes carecen de la marca de control documental, lo que no constituye un error en el proceso operativo principal o de soporte, pero sí formal de los procesos de control del sistema de gestión implementado [8].

La cantidad de documentos que conforman el sistema de gestión puede ser muy grande, y como se desprende de la tabla 2, en algunos casos su frecuencia de actualización puede ser relativamente alta y ser de uso de una gran cantidad de actores; esto es especialmente cierto para los documentos relacionados con los

registros de los procedimientos primarios, con el tratamiento de las no conformidades y en general con todo el capítulo de soporte y el de operación.

El uso de un determinado formulario para registrar acciones o mediciones por parte de diferentes personas requiere que se garantice el acceso a la última versión vigente y también la validación de esta situación a la hora de incorporar y almacenar el registro; por otra parte, durante una auditoría externa también se debe validar que la documentación puesta a disposición de las partes interesadas se corresponde con la versión vigente.

La flexibilidad a la hora de especificar el sistema de gestión, por otra parte, constituye una dificultad para implementar o adaptar software empaquetado sobre todo si se debe controlar el uso de versiones vigentes para adjuntar registros: estos pueden tener un formato arbitrario según las necesidades de la organización. La solución más popular es la de utilizar aplicaciones de ofimática y mantener los registros y documentos almacenados en archivos; se presenta como una alternativa económica ya que no requiere la adquisición de software especializado y la capacitación se puede afrontar con menores recursos. En contraposición, esta opción requiere un esfuerzo mayor para controlar las versiones y está más expuesta a errores humanos.

En otra dimensión del problema, durante el proceso de auditoría externa para acceder a la certificación (o bien renovar una certificación ya obtenida) un auditor debe revisar los detalles de implementación del sistema de gestión comenzando por interiorizarse en el contexto de la organización; debe comprender procesos dentro del alcance del sistema, verificar que la documentación se encuentre completa, que exista evidencia de los registros, tratamiento de las no conformidades, posibles no conformidades no tratadas, que se realicen acciones de mejora, más todos los procesos de soporte y de enfoque al cliente. Recordando como se mencionó anteriormente que la flexibilidad del sistema permite a cada organización estructurar la documentación y mantenerla en el formato que mejor se adecue a su realidad y posibilidades, la tarea del auditor sin herramientas que den soporte a su tarea es especialmente ardua.

4 Registro y validación de documentos apoyándose en contratos inteligentes.

El uso de contratos inteligentes como apoyo para algunos de los procesos de la gestión de los documentos y evidencia de registros permite aprovechar algunas ventajas de esta tecnología para mitigar los riesgos propios de la implementación y certificación de los sistemas de gestión bajo normas basadas en ISO 9000 y similares.

Se deben considerar las ventajas y desventajas de esta opción como así también tener en cuenta ciertos detalles al realizar el diseño del software. Con respecto a esto último, cabe destacar que el almacenamiento de información en la blockchain es

extremadamente costoso y por lo tanto no es conveniente para el almacenamiento de archivos en general; para este caso de uso existen implementaciones específicas de almacenamiento distribuido basado en blockchain como por ejemplo se plantea en [9] y se prefiere utilizar los contratos inteligentes para registrar referencias a los archivos [10].

Por otro lado, el auge de la tecnología blockchain y de los contratos inteligentes está sostenido por una comunidad activa de desarrolladores y por una corriente de investigaciones que promueven la implementación de soluciones que pueden adaptarse a los requisitos de gestión de los documentos de las normas ISO 9000 y similares, como el registro de autor y verificador de los documentos [10].

A continuación, se proponen cuatro procedimientos que buscan asistir a los usuarios a la hora de utilizar formularios controlados para agregar registros al sistema de gestión. Como se menciona en el apartado 3, una falla que se encuentra con cierta frecuencia es el uso de versiones incorrectas de los formularios o la distribución de versiones no vigentes cuya trazabilidad es dificultosa según cómo la organización decida estructurar su sistema documental.

4.1 Registro de nuevo documento / nueva versión

Este procedimiento recibe como entrada un código de documento según el esquema que la organización adopte para su estructura documental, el número de versión del documento, la fecha de publicación de la versión y el archivo en formato PDF.

La aplicación cliente calcula el hash del archivo utilizando el algoritmo keccak256 e invoca una función del contrato inteligente para validar que la versión se haya incrementado con respecto a la anterior y que el hash sea diferente del de la versión vigente (se contempla como positivo el caso de ser un nuevo documento en su primera versión registrada).

En la figura 1 se muestra el diagrama de secuencia del registro de un nuevo documento; éste puede tratarse de cualquiera de los requeridos/sugeridos por la norma y en particular un formulario utilizado para agregar registros o evidencia de registros al sistema de gestión. Este diseño no hace ninguna asunción sobre el tipo de almacenamiento a utilizar; la aplicación cliente es responsable de gestionar este aspecto y basta con que el archivo sea recuperable a través de alguna referencia (URI) almacenada en el propio contrato inteligente.

El documento registrado es almacenado tal cual, sin modificaciones, y se computa el hash del mismo para posteriores validaciones. El código QR generado e insertado en el documento contiene información del registro para permitir a la aplicación determinar que se trata del documento correcto en el diagrama de la figura 3.

Es importante remarcar que la verificación propuesta no persigue objetivos de seguridad o integridad de los archivos, sino que busca prevenir errores involuntarios

de los participantes del sistema de gestión y asistir a la validación de las versiones de los documentos durante la auditoría.

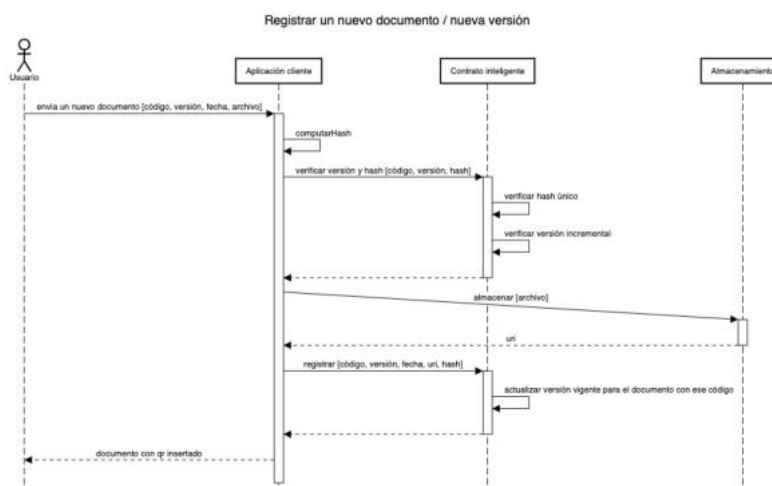


Figura 1. Diagrama de secuencia de registro de un documento

4.2 Descarga de copia controlada

Como se mencionaba en el procedimiento anterior, los archivos de los documentos son almacenados en un servicio externo a la aplicación sin incluir ninguna modificación, lo que permite que al computar su hash se pueda validar la integridad.

El procedimiento de descarga de documento recibe como entrada un código de documento, obtiene del contrato inteligente la URI donde se persiste el archivo más el hash registrado y la aplicación cliente valida que el archivo obtenido sea el originalmente registrado computando y comparando su hash contra el almacenado en la blockchain, tras lo que inserta el código QR y texto típico con el código de documento y número de versión y produce la salida al usuario. Esta marca no necesariamente constituye la que requiere el propio sistema de gestión, aunque es compatible con el mismo.

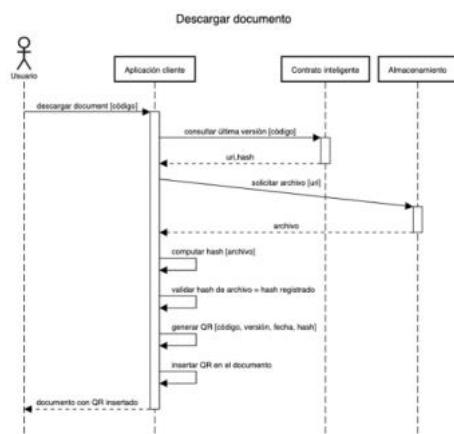


Figura 2. Diagrama de secuencia de descarga de un documento registrado.

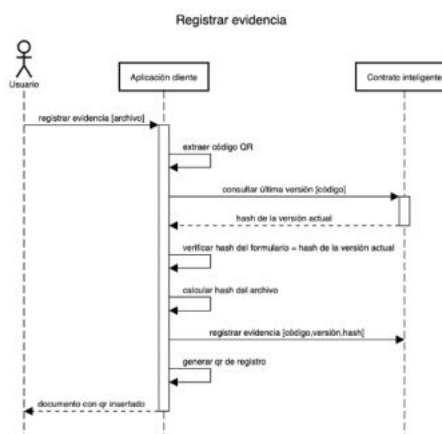


Figura 3. Diagrama de secuencia de validación de registro con formulario controlado.

4.3 Registro de evidencia

Este procedimiento recibe como entrada un archivo representando un formulario completo por el participante del sistema de gestión. Este formulario debe cumplir como precondition haber sido descargado mediante el procedimiento de descarga de copia controlada o bien durante el registro de nuevo documento / versión. A modo de sugerencia, se puede utilizar la funcionalidad de formularios en PDF o bien cualquier otro mecanismo que permita incluso capturar la imagen del formulario con los datos y donde el código QR sea visible.

La aplicación cliente extrae el código QR del archivo, que contiene la información que permite identificar al documento y el hash del mismo, obtiene los datos registrados para ese documento en el contrato inteligente y valida que se trate de la versión vigente del formulario en cuestión.

En el contexto de un sistema de gestión genérico, un registro es un formulario cuyos campos de entrada han sido completados con datos; la solución que se presenta no almacena los registros propiamente dichos, sino que valida el formulario utilizado y genera como salida el mismo documento con un código de verificación estampado.

4.4 Verificación de vigencia documento

Este procedimiento recibe como entrada los datos de un código QR ya capturado, que contiene el código de documento y el hash del archivo generado al registrarlo, obtiene los datos del documento vigente con dicho código en el contrato inteligente y compara el hash registrado con el capturado en el código QR. Se toma como base la

verificación utilizada en el procedimiento anterior, pero esta vez extendiéndolo a cualquier tipo de documento. La verificación permite fácilmente conocer el estado de validez de cualquier copia sin necesidad de verificar manualmente los listados de documentos del sistema de gestión.

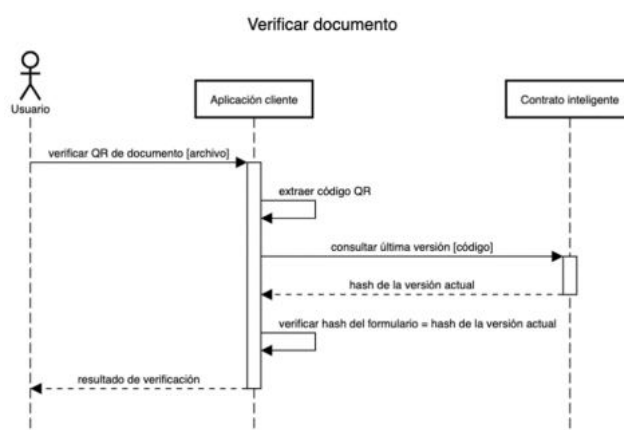


Figura 4. Diagrama de secuencia para la validación de vigencia de un documento.

5 Conclusiones

Luego de analizar casos de uso de blockchain y contratos inteligentes en organizaciones privadas, características generales de la tecnología y por otra parte experiencias en la implementación y certificación de sistemas de gestión en organizaciones pequeñas, se han planteado conceptualmente soluciones posibles a una de las problemáticas que se enfrentan y que muchas veces son detectadas como no conformidades durante una auditoría. Esto abre camino a la expansión de la solución para incluir los datos de los registros en la propia blockchain, lo que permitiría que un contrato inteligente pudiese detectar e incluso registrar las etapas de tratamiento de las no conformidades, que es un aspecto muy sensible en la implementación de los sistemas de gestión.

A diferencia de una aplicación tradicional, el uso de contratos inteligentes permite que las organizaciones que implementan sistemas de gestión formen parte de una red de nodos junto con las que certifican los sistemas, como parte de un ecosistema de “auditoría continua”; por otra parte, la flexibilidad a la hora de escribir los algoritmos permite que, utilizando una infraestructura predefinida, cada organización pudiera agregar y personalizar los contratos según sus necesidades.

Estas ventajas deben ser siempre contrastadas con los inconvenientes propios de blockchain para asegurar que se alcanzan los requerimientos del sistema: el problema de la escalabilidad, la ineficiencia en las operaciones, el costo de las transacciones, el impacto ambiental. Sin embargo, en estos últimos dos aspectos no hay que dejar de

lado que la adopción de sistemas de gestión tiende a la disminución de los costos operativos porque ayuda a anticipar los errores y mejorar los procesos, a la vez que puede asistir a la digitalización de los documentos de soporte disminuyendo el uso de papel.

6 Referencias

- [1] Hu, Y., Liyanage, M., Manzoor, A., Thilakarathna, K., Jourjon, G., Seneviratne, A. (2019). Blockchain-based Smart Contracts -Applications and Challenges. arXiv:1810.04699v2 [cs.CY]
- [2] Nakamoto, S. (2008). "Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system."
- [3] Sayeed, S., Marco-Hisbert, H. (2019). Assessing Blockchain Consensus and Security Mechanisms against the 51% Attack. DOI:10.3390/app9091788
- [4] Ben H., Elyes, Brousmiche, K. L., Levard, H., Thea, E.. (2017). Blockchain for Enterprise: Overview, Opportunities and Challenges. International Conference on Wireless and Mobile Communications, ICWMC.
- [5] Preisegger, J.S., Muñoz, R., Pasini, A., Pesado, P. (2019). Blockchain y gobierno digital. II Track de Gobierno Digital y Ciudades Inteligentes. oai:sedici.unlp.edu.ar:10915/91367
- [6] Silvera, J. A., Figueroa, D. A., Gil, G. D., Sánchez, E., Orosco, C. I. (2013). Ingeniería de software aplicada a un sistema de gestión de calidad en centros educativos. XV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, pp 517-520.
- [7] Garbarini, R., Cigliuti, P., Burstyn, A., Pollo-Cattaneo, F. (2013). Implementación de un sistema de gestión de calidad y servicios en laboratorio universitario de Ingeniería en Sistemas de Información. VIII Congreso de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología.
- [8] Dias, R., Arrojo, C. D., Nastta, H. A., Herlein, M. E., Álvarez Martini, C. A., Scaramutti, J. C., Danessa, F. (2019). Implementación de un sistema de la calidad según norma ISO/IEC 17025 en un laboratorio de ensayos eléctricos del ámbito universitario. V Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión de la Facultad de Ingeniería (UNLP), pp 419-426. ISBN 978-950-34-1749-2
- [9] Ali, S., Wang, G., White, B., Cotrell, R. L.. (2018). 17th IEEE International Conference On Trust, Security And Privacy In Computing And Communications/ 12th IEEE International Conference On Big Data Science And Engineering.
- [10] Nizamuddin, N., Salah, K., Ajmal Azad, M., Arshad, J., Rehman, M. H. (2019). Decentralized Document Version Control using Ethereum Blockchain and IPFS. Computers & Electrical Engineering 76. DOI:10.1016/j.compeleceng.2019.03.014