



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



Universidad de la República

Facultad de Ingeniería

Proyecto de Grado - Ingeniería de Producción

MEJORA DE LA CADENA DE SUMINISTRO POR APLICACIÓN DE BLOCKCHAIN

Juan Fermín Remedi
Francisco Stanham

5.415.182-3
4.737.671-5

Tutor: Ing. Guillermo Rela

2021

Agradecimientos

El proyecto de grado representa un gran desafío y esfuerzo para todos los estudiantes de nuestra Facultad, pero también una gran oportunidad. Una oportunidad de aprendizaje y desarrollo tanto en lo personal, como en lo académico y profesional. A lo largo de este proceso, fuimos guiados por personas que dejaron una huella en cada uno de estos aspectos y por este motivo consideramos de gran importancia su presencia en esta sección.

En primer lugar, agradecer a nuestro tutor Guillermo Rela por su apoyo y asesoramiento a lo largo del proyecto como también en la carrera como director de la misma y docente de diversas asignaturas. Su visión de futuro, entusiasmo y sugerencias innovadoras fueron un gran aporte al proyecto.

También a Marcelo Secco, director de Marfrig, Fernando Thul, Gerente de Tecnologías de Información en Jaume & Seré, y Alexander Wolff, Gerente de Desarrollo en Concepto, quienes nos brindaron con mucho entusiasmo sus conocimientos para poder llevar a cabo el proyecto, además de dedicar su tiempo en un prolongado asesoramiento a lo largo del proyecto. Compartieron de forma auténtica sus ideas y estudios previos, y fueron sin duda una constante fuente de motivación.

Por otro lado, Cecilia Acosta, Gerente de Calidad de Marfrig, Antonio Chiesa, Asistente de Producción de Marfrig, José Ignacio Gamio, CEO de Athena Foods, Martín Gastañaga encargado del Departamento de Control de Comercio Internacional del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, y Agustín Inthamoussu, exgerente general de Carbosur e integrante de la *United Nations Framework Convention on Climate Change*, también dedicaron su tiempo y experiencia para guiarnos en distintos puntos del proyecto y también tienen nuestra gratitud.

Resumen ejecutivo

El informe presenta la descripción, metodología y resultados obtenidos correspondientes a la investigación acerca de la mejora de la cadena de suministro por aplicación de *blockchain* elegida como consigna del Proyecto de Grado de la carrera Ingeniería de Producción.

Para llevar adelante dicha investigación, en primera instancia se llevó a cabo una revisión bibliográfica de los temas principales abordados en el proyecto. Principalmente se profundizó la investigación en la tecnología de cadena de bloques denominada *blockchain*, en conceptos acerca de las cadenas de suministro, y en la realidad de la industria cárnica en el mundo y en Uruguay. Se constató que esta industria cuenta con ventajas competitivas importantes que la destacan por sobre sus competidores regionales. De todas formas, se presentan una serie de desafíos de cara al futuro como el poder adaptarse a las nuevas necesidades de los consumidores y consolidar otros tipos de producción para acceder a nuevas cuotas de exportación y capturar nuevos mercados.

En este contexto, la mencionada tecnología de cadena de bloques podrá brindar nuevas funcionalidades en muchas de las actividades que se dan al producir cortes cárnicos, incluyendo la producción industrial y las distintas etapas de transporte de mercadería en distintos grados de procesamiento. Estas nuevas funcionalidades son un medio confiable para hacerle frente a los desafíos presentados y así poder desarrollar aún más la industria.

Específicamente, se modeló un sistema basado en *blockchain* capaz de recabar información y datos claves generados por distintos actores de la cadena de suministro cárnica y almacenarlos de manera confiable, inmutable y segura. Esto permitirá que cualquier actor de la cadena acceda a una gran cantidad de información que actualmente no está del todo disponible, y lograr resultados como el aumento de la fidelidad de los consumidores finales a través de un aumento en la transparencia, evaluación de proveedores más confiable o el agregado de valor en general para la industria. Posteriormente se procedió a crear una red funcional de prueba como punto de partida en la concreción real del proyecto.

Luego de analizar el sistema diseñado a través de la presentación del mismo a distintos profesionales del rubro, se llega a la conclusión de que un sistema de tales características es definitivamente capaz de potenciar mejoras como las mencionadas y muchas otras no previstas inicialmente. Si bien su implementación completa resulta, en principio, poco factible, una implementación escalonada en la cual se consideren solamente algunos actores claves en una primera instancia, para luego incluir a los restantes, no está tan alejada de la realidad. De hecho, algunos de los profesionales contactados manifestaron intenciones de llevar a la práctica la implementación de un sistema similar al propuesto. En ese sentido, el mayor desafío es integrar a todas las entidades públicas y privadas en un único sistema descentralizado, pero esto no debe desmotivar a los involucrados a comenzar con innovaciones de este estilo en el mediano plazo para obtener ventajas por sobre los competidores de la región.

Palabras claves: *blockchain*, *Smart Contract*, criptografía, mecanismos de consenso, sistemas descentralizados, *Hyperledger Fabric*, cadena de suministro, Industria Cárnica, agregado de valor.

Índice

Agradecimientos	3
Resumen ejecutivo	5
Índice	7
Introducción	9
Objetivos	10
Marco teórico	13
Fundamentos Cadena de Suministro	13
Sistemas Centralizados y Descentralizados	15
Sistemas <i>peer-to-peer</i>	16
<i>Blockchain</i>	16
Transacciones	18
<i>Hashing Data</i>	18
Criptografía	19
Cadena de bloques	19
Capas	19
Mecanismos de Consenso	20
Casos de Uso	23
Gestión compartida de energía solar	25
Análisis contextual de la industria cárnica	29
El complejo cárnico - motivación	29
Casos de uso en el negocio cárnico	31
Análisis tecnológico	33
Elección de <i>blockchain</i>	35
<i>Ethereum</i>	36
<i>Hyperledger Fabric</i>	36
<i>R3 Corda</i>	37
Prueba de concepto en <i>Hyperledger Fabric</i>	39
Prerrequisitos	39
Creación de la red	43
Creación del canal	46
Configuración de <i>smart contract</i> en el canal	48
Ejecución de transacciones	51
	7

Diseño del sistema	59
1. Identificación de los principales actores del proceso.	59
2. Determinación de documentos e información (datos relevantes) requerida en la cadena	62
3. Desarrollo práctico de aplicación en cadena de suministro	65
4. Relación lógica entre documentos	73
5. Definición de canales de comunicación	73
6. Establecimiento de la gobernanza	76
Agregado de valor a la cadena de suministro	79
Producción de cortes orgánicos	79
Carne producida a bajo carbono	81
Producción de carne <i>Kosher</i>	85
Certificaciones de bienestar animal	87
Registro de hitos relevantes durante la producción de carne	90
Sinergia entre IoT y la trazabilidad con <i>blockchain</i>	91
Trazabilidad hacia atrás y logística de retiro de productos	92
Análisis de implementación	93
Retroalimentación Plantas de Faena	95
Retroalimentación Jaume & Seré y Concepto	95
Conclusiones	97
Bibliografía	101
Anexo I – flujo de procesos desde ingreso de ganado a planta hasta envasado de cortes cárnicos	107
Anexo II – flujo de procesos correspondientes a la negociación entre planta de faena y cliente	109
Anexo III – funcionamiento del <i>smart contract</i> como sustituto de la carta de crédito	111
Anexo IV – la ganadería uruguaya y el cuidado del medio ambiente	113