



Facultad de Veterinaria  
**Universidad** Zaragoza



# Trabajo Fin de

Autor/es

Director/es

Facultad de Veterinaria

---

## Índice

Resumen.....	3
Abstract .....	3
1. Introducción.....	4
1. Justificación y Objetivos.....	6
2. Metodología.....	6
3. Resultados y discusión.....	8
4.1 Situación actual de la trazabilidad de huevo de categoría A .....	8
4.1.1 Marco legal que afecta a la trazabilidad en el sector huevos en España .....	8
4.1.2 Mercado, registros y documentación .....	10
4.1.2 Autoridades competentes y Controles Oficiales .....	14
4.2 Nuevas tecnologías con aplicaciones en trazabilidad.....	19
4.2.1 Internet de las cosas (Internet of Things, IoT por sus siglas en inglés).....	19
4.2.2 Blockchain .....	22
4.2.3 Inteligencia Artificial .....	26
4.2.4 Métodos para la identificación del sistema de cría .....	27
4.3 Posible escenario de la trazabilidad del huevo de categoría A a futuro .....	27
4. Conclusiones .....	29
Conclusions.....	30
Valoración personal.....	31
Bibliografía .....	31
Anexos .....	35
Anexo I.....	35
Funcionamiento de Bitcoin .....	36

## Resumen

Ante la creciente demanda de los consumidores de huevos de gallinas criadas en regímenes campero y ecológico, emerge un riesgo de fraude por marcado falso, motivado por el mayor precio de venta que se consigue respecto a los sistemas de jaula. El marco legislativo y sistema de control implantados en España no dispone de las herramientas adecuadas para hacer frente a esta situación. El uso combinado de diferentes tecnologías de la industria 4.0 (Internet of Things, blockchain, inteligencia artificial, etc.), ayudaría a crear un sistema de trazabilidad rápido y transparente, contribuyendo a generar confianza en los consumidores, proteger a los productores y facilitar la tarea de control a las autoridades competentes. Mediante consulta de la legislación, documentos oficiales y literatura científica, se realiza un análisis de la situación actual de la trazabilidad del huevo de categoría A producidos y comercializados en España. Además, se describen varias tecnologías de la Industria 4.0 y se discute su utilidad y aplicabilidad en este campo.

## Abstract

Regarding the rising demand of eggs from free range and organic systems, a risk of fraud commission emerges, motivated by the higher sell prices of this kind of eggs compared with those obtained from the other systems. The legislative framework and control system currently established in Spain is not able to fight this situation. The usage of different Industry 4.0 technologies (Internet of things, blockchain, Artificial Intelligence, etc.) could help to create a fast and transparent traceability system, contributing to generate confidence among consumers, protecting farmers and facilitating control functions to Authorities. An analysis is conducted by consulting the legislation, official documents and scientific literature, in order to outline the traceability status of A category eggs produced and commercialised in Spain. Furthermore, several Industry 4.0 technologies are described and their usefulness and possible applications are discussed.

## 1. Introducción

El sector avícola de puesta lleva años inmerso en un proceso de cambio de modos de producción, habiendo pasado de la predominancia casi absoluta de los huevos de gallinas criadas en jaula, a una demanda cada vez mayor de huevos de gallinas criadas mediante los llamados “sistemas alternativos”. Este cambio de tendencia viene forzado por la cada vez mayor preocupación de la sociedad por conseguir una mejora del bienestar animal en las explotaciones ganaderas. Así lo refleja la iniciativa ciudadana “End the Cage Age” (Comisión Europea, 2021), que tras recoger 1,4 millones de firmas (EFEVerde, 2022) se ha convertido en la sexta iniciativa ciudadana europea que ha alcanzado los umbrales numéricos necesarios para comenzar con el proceso legislativo. Aunque la iniciativa no incluye una petición específica sobre el calendario, en la reunión con la Comisión y en la audiencia en el Parlamento Europeo, los organizadores expresaron su ambición de que la prohibición de las jaulas entre en vigor en 2027. Grandes marcas de distribución también han notado esta tendencia y han anunciado la decisión de dejar de vender huevos con código 3 (gallinas criadas en jaula) durante la presente década (EFEAgro, 2017)(Anónimo, 2021).

El cambio a sistemas de cría con normas de bienestar animal más estrictas suele mejorar la reputación de los agricultores en la sociedad y aumenta la confianza hacia su trabajo (Comisión Europea, 2021). Esto lleva a que muchas empresas intenten mostrar que sus animales viven en unas condiciones idílicas, en línea con lo que el consumidor medio entiende por sistemas alternativos, pero que se alejan de la realidad de sus explotaciones, en muchas de las cuales las gallinas no llegan a acceder al exterior. Por lo tanto, consiguen precios de venta equivalentes a los de explotaciones que acarrear con mayores costes unitarios, debido a diferencias en la densidad de población en las naves, costes en alimentación, productividad, etc. (Puertas y Vázquez, 2019). Esta situación hace imprescindible proteger frente al fraude a los productores cuyas explotaciones sí que cumplen con las expectativas de bienestar animal recogidas en los textos legales y esperadas por los consumidores. En este sentido, la Comisión está explorando opciones para una etiqueta de bienestar animal a escala de la UE con vistas a mejorar la transmisión de valor a través de la cadena alimentaria. Además, antes de 2024 está previsto proponer un marco de etiquetado de alimentos sostenibles que debería abarcar los aspectos nutricionales, climáticos, medioambientales y sociales de los productos alimentarios, incluido el bienestar de los animales (Comisión Europea, 2021).

Esta transformación del sector avícola está en línea con lo que se recoge en el Pacto Verde Europeo (PVE), cuyo propósito es transformar la UE en una sociedad equitativa, eficiente en el uso de los recursos y competitiva, en la que no habrá emisiones netas de gases de efecto

invernadero en 2050 y el crecimiento económico estará disociado del uso de los recursos. Dentro del marco del PVE se encuentra la nueva Estrategia de la Granja a la Mesa, que expone la necesidad urgente de reducir la dependencia en pesticidas y antibióticos, reducir el exceso de fertilización, incrementar la producción ecológica, mejorar el bienestar animal y revertir la pérdida de biodiversidad (Comisión Europea, 2020).

Ante proyectos tan ambiciosos, la trazabilidad se erige como la herramienta fundamental para que autoridades competentes, consumidores y productores, depositen su confianza en el mercado y se puedan conseguir los objetivos recogidos en las iniciativas citadas, evitando el fraude que, tal y como recoge el texto que da forma a la Estrategia de la Granja a la Mesa, supone un engaño para el consumidor, le impide tomar decisiones informadas, merma la seguridad alimentaria y supone una pérdida de resiliencia de los mercados alimentarios (Comisión Europea, 2020).

La legislación actual hace muy complicada la detección de fraude en el sector de huevos destinados al consumo humano directo. Tanto es así, que el borrador del Reglamento Delegado por el que se modifica el Reglamento (UE) nº 1308/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo, en lo que respecta a las normas de comercialización de los huevos, reconoce, en la exposición de motivos (punto 3) que la posibilidad de que el mercado de los huevos se realice bien en el centro de producción, bien en el centro de embalaje, plantea un cierto riesgo de mercado falso, intencionado o no, debido a que huevos de diferentes granjas y/o sistemas de producción pueden mezclarse y etiquetarse incorrectamente (Comisión Europea, 2023). Además, en el caso de incidentes de seguridad alimentaria, esto podría dar lugar a problemas de pérdidas de trazabilidad. Por lo tanto, a la luz de la creciente demanda de los consumidores, deben reforzarse las normas y los sistemas de trazabilidad.

Además de la vía legislativa, las nuevas tecnologías ofrecen herramientas que ya se están implementando y cuyo uso se prevé que pueda garantizar un sistema de trazabilidad más rápido y fiable. En el PVE, se sitúa la digitalización como pilar fundamental para contribuir a la disponibilidad y manejo de la información de las características de los productos comercializados en la UE, mencionando en concreto la inteligencia artificial, las redes 5G, la computación en la nube, el *Edge computing*, y el internet de las cosas (IoT) (Comisión Europea, 2019).

## 1. Justificación y Objetivos

El sector europeo de huevos es pionero en la aplicación de la trazabilidad para garantizar la seguridad alimentaria, ya que llega hasta cada unidad de consumo. No obstante, en la actualidad se discute la importancia de que administradores, productores y consumidores cuenten con un sistema de trazabilidad robusto, que asegure a unos y a otros ser partícipes de un sistema alimentario honrado y transparente, facilitando, al mismo tiempo, que las autoridades consigan los objetivos marcados por la Unión Europea. Este sistema se considera necesario en el sector de producción y comercialización de huevos.

Con la realización del presente Trabajo de Fin de Grado, se pretende conseguir los siguientes objetivos:

- Analizar la situación de la trazabilidad de los huevos de categoría A, producidos y comercializados en España; para ello se utilizará tanto la legislación disponible y aplicable como otros documentos oficiales
- Identificar las diferentes tecnologías de la Industria 4.0 y discutir su aplicación en este campo; para ello se documentarán ejemplos reales de su implantación tanto en el sector avícola como en la cadena alimentaria.

Con ello, se pretende poner en práctica y ampliar destrezas y conocimientos adquiridos durante el Grado, de manera que con la consecución de los objetivos planteados poder ser capaz de realizar una investigación de forma autónoma y extraer conclusiones valiosas para el sector.

## 2. Metodología

Para la consecución del primer objetivo, se comenzó por una búsqueda general en el buscador Google Chrome, con los términos “legislación huevos España”. Se recopiló información de las siguientes páginas web:

- Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN)
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA)
- Organización Interprofesional del Huevo y sus Productos
- Instituto de Estudios del Huevo.

Asimismo, para la búsqueda de legislación se ha hecho uso de las herramientas digitales que proporcionan las autoridades en el ámbito comunitario, nacional y autonómico, véase EUR-lex, Boletín Oficial del Estado (BOE) y Boletín Oficial de Aragón (BOA).

En la misma dirección web de AESAN hay un enlace al Plan Nacional de Control Oficial de la Cadena Alimentaria, cuya consulta condujo al resto de documentos que se utilizaron para el apartado del análisis de la situación de la trazabilidad.

Para el segundo objetivo, se procedió a una búsqueda en las bases de datos científicas ScienceDirect y Scopus, utilizando los términos “food chain traceability”, “egg traceability”, “laying hens egg traceability”, “Industry 4.0 food”, “blockchain food traceability”. Se realizó una selección de los artículos que, por temática y nivel técnico, se consideraron útiles para la investigación. Además, parte de la literatura científica utilizada se obtuvo a partir de las referencias bibliográficas de los artículos encontrados en esta primera búsqueda.

Mencionar que, conforme se avanzaba en la investigación, especialmente a la hora de profundizar en las aplicaciones de la tecnología blockchain, se percibió una dificultad también señalada por otros autores, como Tabatabaei, Vitenberg y Veeraragavan (2023), que ponen de manifiesto que a pesar de la enorme cantidad de material publicado en los últimos años “el área se mantiene aún tumultuosa, sin terminología comúnmente aceptada y ocasionalmente con divergencia de ideas” y que:

hoy en día, la única manera de llegar a un conocimiento profundo del diseño detrás de prácticamente todos los sistemas blockchain es leer los típicos *white* y *yellow papers*, seguido de la continua lectura de las actualizaciones de la documentación técnica, además de cientos de post en blogs hechos por los desarrolladores y foros de usuarios.

Efectivamente, buena parte de la investigación se realizó acudiendo a las páginas web, blogs y post de YouTube de los sitios oficiales de distintos proyectos blockchain que se mencionarán más adelante. Aunque no se recoja en la bibliografía, fue de gran utilidad el uso de material audiovisual publicado por entidades como la Universidad de Stanford o Telefónica, así como varios cursos introductorios de la academia digital Bit2Me, avalada por la propia Telefónica.

### 3. Resultados y discusión

#### 4.1 Situación actual de la trazabilidad de huevo de categoría A

Los huevos destinados al consumo humano se producen en explotaciones ganaderas donde se crían las gallinas y que, de forma general, albergan también las instalaciones para la clasificación, envasado y almacenamiento de los huevos.

La Organización Interprofesional del Huevo y sus Productos (INPROVO, 2004), señala los siguientes eslabones en la cadena del huevo: granjas, colectores (opcional), centros de embalaje, mayoristas (opcional), minoristas/consumidor final.

El término trazabilidad está definido en el Reglamento 178/2002 como “la posibilidad de encontrar y seguir el rastro, a través de todas las etapas de producción, transformación y distribución, de un alimento, un pienso, un animal destinado a la producción de alimentos o una sustancia destinada a ser incorporada en un alimento o un pienso o con probabilidad de serlo”.

##### 4.1.1 Marco legal que afecta a la trazabilidad en el sector huevos en España

En este apartado se analizarán las normas aplicables a la trazabilidad de huevos de consumo en España, resaltando la documentación y las herramientas que las autoridades pueden emplear para evitar el fraude de la comercialización de huevos producidos en un sistema diferente al indicado en la cáscara y en el embalaje.

En la Tabla 1 se muestra la recopilación de normas que afectan a la trazabilidad de los huevos de categoría A en la Unión Europea, España y Aragón. Se debe entender que cada normativa incluye el documento consolidado con todas las modificaciones sobrevenidas desde su publicación inicial.



Norma	Cita bibliográfica
Reglamento 178/2002	Parlamento Europeo y Consejo Europeo (2002)
Directiva 2002/4/CE	Comisión Europea (2002)
Reglamento 853/2004	Comisión Europea (2008)
Reglamento 589/2008	Comisión Europea (2008)
Reglamento 1308/2013	Parlamento Europeo y Consejo Europeo (2013)
Reglamento 2017/625	Consejo Europeo y Parlamento Europeo (2017)
Real Decreto 372/2003	MAPA (2003)
Real Decreto 226/2008	MAPA (2008)
Real Decreto 191/2011	Ministerio de Sanidad Política Social e Igualdad (2011)
Ley 9/2006	Cortes de Aragón (2006)
Decreto 76/2018	Gobierno de Aragón (2018)

*Tabla 1- Principales disposiciones aplicables a la trazabilidad de los huevos de categoría A en la Unión Europea, España y Aragón.*

Con carácter general, el Reglamento CE nº 178/2002, en su artículo 18, responsabiliza al operador económico y le exige tener implantado un sistema de trazabilidad documentado y ponerlo a disposición de la Autoridad competente si lo solicita. Además, exige la obligación de identificar los alimentos y piensos y de que ambos vayan acompañados de la documentación pertinente para facilitar el desarrollo del sistema de trazabilidad.

Con carácter vertical, la normativa oficial europea que regula la producción y comercialización de los huevos de consumo es el Reglamento 589/2008 (Comisión Europea, 2008a) incluyendo sus modificaciones posteriores; asimismo es aplicable el Reglamento 1308/2013 por el que se crea la organización común de mercados de los productos agrarios y la Directiva 2002/4/CE que establece el sistema de registro de los establecimientos dedicados a la producción de huevos.

A los efectos del Reglamento 589/2008, los huevos se dividen en categorías por calidad (A y B), siendo la categoría A la correspondiente a los huevos destinados al consumo humano directo, los cuales deberán cumplir con las características cualitativas recogidas en los puntos 1, 2 y 3 del artículo 2 de dicho Reglamento (Comisión Europea, 2008). Asimismo, en su artículo 4 establece las categorías por peso de los huevos de categoría A (tabla 2) y de acuerdo con el artículo 13, la fecha de duración mínima, que no superará un plazo superior a 28 días después de la puesta y, cuando se indique el período de puesta, la fecha de duración mínima se determinará a partir del primer día de ese período.

Categoría	Denominación	Peso (g)
XL	Súper grandes	≥ 73
L	Grandes	≥ 63 gramos y > 73 gramos
M	Medianos	≥ 53 gramos y > 63 gramos
S	Pequeños	peso < 53 gramos

*Tabla 2- Clasificación de los huevos de categoría A en función del peso según el Reglamento 589/2008*

Hay dos puntos clave a tener en cuenta en la normativa aplicable:

- Reglamento 589/2008 que establece que sólo los centros de embalaje clasificarán y embalarán los huevos y etiquetarán sus envases.
- Reglamento 1308/2013 que indica que los huevos se marcarán bien en el centro de producción, bien en el primer centro de embalaje al que lleguen los huevos.

A continuación, se analiza la regulación del mercado, registros y documentación que atañe a la trazabilidad de los huevos, y los controles oficiales que se llevan a cabo por parte de la Administración competente. Las excepciones y particularidades acerca de la información a suministrar al consumidor final recogidas en la legislación comunitaria, estatal y autonómica que no se incluyen en este apartado han sido descartadas por no ser relevantes para el objetivo de este trabajo.

#### 4.1.2 Marcado, registros y documentación

En el apartado 2 del Anexo de la Directiva 2002/4/CE transpuesta por el Real Decreto 372/2003, de 28 de marzo (MAPA, 2003), se define el marcado del huevo, que consiste en número distintivo que ha de figurar en la cáscara de los huevos, el cual estará compuesto por un dígito que indique la forma de cría correspondiente (tabla 2), seguido del código del Estado miembro (ES España), y un número identificativo definido por el Estado miembro en el que está ubicado el establecimiento.

Código	Sistema de cría
0	Producción ecológica
1	Campera
2	Suelo
3	Jaulas

*Tabla 3-Códigos de marcado de huevos correspondientes a la forma de cría*

El Real Decreto 372/2003, en su artículo 5, punto 4, dicta que serán las autoridades competentes de las comunidades autónomas (CCAA) las encargadas de atribuir a cada establecimiento un

número único que garantice su identificación. Dicho número reflejará la siguiente información, dispuesta en el orden en el que se relata:

- Dos dígitos correspondientes al número de la provincia.
- Tres dígitos para el código del municipio donde radique el establecimiento.
- Un código de siete dígitos que los identifique de forma única dentro del municipio.

Además, se podrá añadir un carácter adicional al número distintivo que permita identificar las manadas mantenidas en naves o edificios separados pertenecientes a una explotación o granja.

Por su parte, en el etiquetado de los estuches debe aparecer reflejada la siguiente información:

- Código del centro de embalaje.
- Categoría de calidad.
- Categoría de peso.
- Fecha de duración mínima.
- Las palabras huevos lavados, para los huevos lavados.
- Una indicación que recomiende a los consumidores que conserven los huevos en el frigorífico.
- El sistema de cría de las gallinas ponedoras.
- El significado del código del productor en el exterior o el interior del estuche.

El código del centro de embalaje es otorgado por las autoridades competentes de las comunidades autónomas. El Real Decreto 191/2011 (Ministerio de Sanidad Política Social e Igualdad, 2011) establece el Registro General Sanitario de Empresas Alimentarias y Alimentos (RGSEAA), y en él se tienen que inscribir los centros de embalaje mediante una solicitud a la autoridad competente de la Comunidad Autónoma.

En Aragón, también existe el Registro Sanitario de Establecimientos Alimentarios de Aragón (RSEAA), regulado por el Decreto 76/2018 (Gobierno de Aragón, 2018), en el que han de inscribirse las empresas y establecimientos que manipulen, transformen, envasen, almacenen o sirvan alimentos para su venta o entrega in situ al consumidor final, con o sin reparto a domicilio o a colectividades. Así mismo, los establecimientos anteriormente señalados que suministren a otros establecimientos de iguales características, cuando se trate de una actividad marginal en términos tanto económicos como de producción, que se lleve a cabo en el ámbito que se determine reglamentariamente. El resto de las empresas cuya sede social o establecimientos residan en Aragón y no cumplan con los anteriores requisitos, solamente habrán de inscribirse en el RGSEAA.

Mencionar que en los estuches de huevos no es necesaria la marca de identificación que se describe en el Anexo II, Sección I del Reglamento 853/2004 (y modificaciones), siempre y cuando vayan provistos de un código de centro de embalado.

En el mercado se plantean excepciones para productores con un máximo de 50 gallinas ponedoras, siempre y cuando en el punto de venta estén indicados el nombre y dirección del productor (Parlamento Europeo y Consejo Europeo, 2013).

En el estuche, según lo dispuesto en el artículo 12, parte 2 del Reglamento 589/2008, se han de utilizar las menciones destinadas a nombrar el sistema de cría de las gallinas recogidas en la parte A del Anexo I. En el Anexo II del mismo Reglamento, se describen las condiciones a cumplir por parte de los productores para que los huevos puedan portar esas denominaciones.

El código del productor que ha de aparecer en los estuches se define en el punto 3 del artículo 4 del Real Decreto 226/2008: “Primer dígito: forma de cría de las gallinas, dos letras siguientes: Estado miembro de producción, resto de dígitos: granja de producción”.

En cada paso que recorren los huevos en la cadena alimentaria, se genera documentación que conforma la trazabilidad del producto. Los distintos agentes están obligados a realizar y conservar una serie de registros. A continuación, se enumera parte de la documentación generada y los documentos que los operadores han de conservar a efectos de registro, recogidos en el Reglamento 589/2008:

- 1) **Información indicada en los embalajes para transporte:** cada embalaje para transporte que contenga huevos será identificado por el productor en el establecimiento de producción con:
  - Nombre y apellido y la dirección del productor
  - Código del productor
  - Número de huevos y/o su peso
  - Fecha o el período de puesta
  - Fecha de expedición

Cuando un centro de embalaje reciba huevos sin embalar procedentes de explotaciones propias y situadas en el mismo establecimiento, podrán proceder ellos mismos a la identificación de los embalajes para transporte. Esta información se incluirá en los documentos de acompañamiento. Todo operador que intervenga en el proceso y a quien se entreguen los huevos conservará una copia de los centros de embalaje que clasifiquen los huevos.

Cuando los lotes recibidos por un colector se subdividan para su entrega a más de un operador, los documentos de acompañamiento podrán sustituirse por las etiquetas para contenedores de transporte adecuadas, siempre que incluyan la información indicada

**2) Registros a mantener por los productores:**

- Fecha de instalación, edad en el momento de la instalación y número de gallinas ponedoras
- Fecha de sacrificio y número de gallinas sacrificadas
- Producción diaria de huevos
- Número y/o el peso de huevos vendidos diariamente o entregados diariamente por otros medios
- Nombres y apellidos y las direcciones de los compradores
- Cuando se indique el sistema de alimentación:
  - Cantidad y tipo de piensos suministrados o mezclados en la explotación.
  - Fecha de entrega del pienso.

Cuando un productor aplique distintos sistemas de cría en un mismo establecimiento de producción, esta información se desglosará por gallineros. A efectos de registro los productores podrán archivar las facturas y los albaranes correspondientes, siempre que figure en ellos la información indicada en este apartado.

**3) Registros a mantener por los colectores:**

- Cantidades de huevos recogidos, desglosadas por productores, con el nombre y apellido, la dirección y el código de los productores, además de la fecha o el período de puesta.
- Cantidades entregadas a los centros de embalaje correspondientes, desglosadas por productores, con nombre y apellido, dirección, código de dichos centros y la fecha o el período de puesta.

A efectos de registro, los colectores podrán archivar las facturas y los albaranes correspondientes, siempre que figure en ellos la información indicada en los párrafos inmediatamente anteriores.

**4) Requisitos a mantener por los centros de embalaje:**

- Cantidades de huevos sin clasificar recibidos, desglosadas por productores, con el nombre y apellido, la dirección y el código de los productores, además de la fecha o el período de puesta.
- Las cantidades desglosadas por categorías de calidad y de peso.

- Las cantidades de huevos clasificados procedentes de otros centros de embalaje, con el código de esos centros y la fecha de duración mínima.
- Cantidades de huevos no clasificados entregadas a otros centros de embalaje, desglosadas por productores, con los códigos de esos centros y la fecha o el período de puesta.
- Número y/o el peso de los huevos entregados, por categorías de calidad y de peso, por fecha de embalaje en el caso de los huevos de categoría B o fecha de duración mínima en el caso de los huevos de categoría A, y por comprador, con el nombre y apellido y la dirección de este último.

Cuando los huevos de categoría A y sus estuches lleven una indicación acerca del sistema de alimentación de las gallinas ponedoras, los centros de embalaje que utilicen esas indicaciones registrarán los datos por separado.

En el Reglamento 589/2008 se obliga a mantener los registros durante un plazo mínimo de doce meses a partir de su fecha de creación. Sin embargo, en el caso de Aragón, la Ley 9/2006 (artículo 10)(Cortes de Aragón, 2006), obliga a conservar los originales de los documentos de acompañamiento de productos recibidos y las copias de los documentos de acompañamiento de productos expedidos durante un período de cinco años. También contempla establecer reglamentariamente otros sistemas de identificación y codificación que sustituyan a los documentos de acompañamiento de los productos durante su transporte y circulación.

#### 4.1.2 Autoridades competentes y Controles Oficiales

La legislación europea, a través del Reglamento 2017/625, delega en los Estados miembros la responsabilidad de designar las autoridades competentes que organicen o realicen los controles oficiales y otras actividades oficiales para los ámbitos que incluyen “los alimentos y la seguridad alimentaria, la integridad y la salubridad en cualquier fase de la producción, transformación y distribución de alimentos, incluidas las normas destinadas a garantizar prácticas leales en el comercio y a proteger los intereses y la información de los consumidores, y la fabricación y el uso de materiales y artículos destinados a entrar en contacto con los alimentos”.

En España, los controles oficiales, tanto en producción primaria como en las fases posteriores de la cadena, se engloban dentro del Plan Nacional de Control de la Cadena Alimentaria (PNCOCA), cuya versión actual está en vigor hasta el año 2025 (AESAN, 2023). El PNCOCA está distribuido en 4 objetivos de alto nivel, que a su vez se divide en objetivos estratégicos, cada uno de los cuales corresponde a un ámbito de control concreto de los contemplados en el Reglamento

2017/625. A su vez, cada objetivo estratégico engloba distintos Programas Nacionales de Control (PNCO), en los que aparecen los protocolos a seguir para el control en cada punto de la cadena, junto con las autoridades con competencias y responsabilidades en cada caso. En ellos se especifica el número total de establecimientos o explotaciones objeto de control, basándose en el análisis de riesgo, cuyo procedimiento también se incluye en los PNCO, aunque también se realizan controles aleatorios. Todos los controles se efectúan sin previo aviso, salvo aquellas situaciones en las que esté justificado. Para la ejecución de estos planes de control, se cuenta con la participación de un total de 4 ministerios:

- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA)
- Ministerio de Consumo (MCO)
- Ministerio de Sanidad (MS)
- Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (MINCOTUR)

Cada ministerio tiene atribuidas competencias diferentes que, conjuntadas, cubren todos los objetivos del plan. Si bien las secciones ministeriales se encargan de coordinar, ya que la ejecución de los controles está delegada en las autoridades competentes de las CCAA.

Para este apartado, se ha escogido la Comunidad Autónoma de Aragón como ejemplo.

Es complicado delimitar un área de control específica para la detección del fraude alimentario. El propio PNCOCA 2021-2025 (pág. 79, V3-2023), indica en su texto:

Debido a la complejidad y extensión del fraude alimentario su control no debe limitarse a un tipo de control en función de su naturaleza, debe ser considerado en todo tipo de control. Cualquier incumplimiento de la normativa agroalimentaria puede ser un potencial fraude alimentario siempre que conlleve engaño al consumidor final al ocultar la verdadera calidad de un producto, beneficio económico directo o indirecto para el responsable y una intención (fundamentos sólidos para creer que el incumplimiento no es una coincidencia)

El mismo PNCOCA cita las prácticas más comunes de fraude, entre las que se incluye la falta de trazabilidad.

Así pues, será la suma de los controles ejecutados dentro de todos los planes de control oficial en los que esté involucrado un producto lo que garantice su trazabilidad.

En el plano autonómico aragonés, el PNCOCA se aplica a través del Plan Autonómico de Control de la Cadena Alimentaria en Aragón (PACCAA 2021-25) (Gobierno de Aragón, 2021), que está en

su segunda edición. En él participan el Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, el Departamento de Sanidad y el Departamento de Ciudadanía y Derechos Sociales. Estos Departamentos se dividen en Direcciones Generales (DG), y estas a su vez en otros organismos, que se mencionarán en lo sucesivo según la necesidad.

Dentro del PACCAA, se recoge un listado de 21 Programas de Control Oficial en el ámbito de la Producción Primaria y la Calidad Alimentaria que trasladan los programas nacionales a la Administración aragonesa.

Las Direcciones Generales se ramifican en Servicios Provinciales. Dentro de los Servicios Provinciales del Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, la jerarquía desciende hasta las Unidades de Recursos Ganaderos y Seguridad Agroalimentaria, cuya responsabilidad es la ejecución de los programas de control en el ámbito provincial, bien actuando directamente, bien trasladando indicaciones a las Oficinas Comarcales Agroambientales (OCAs). El Servicio de Seguridad Agroalimentaria, que pertenece a la Dirección General de Calidad y Seguridad Alimentaria, es el encargado de la programación, coordinación y seguimiento de los planes de control de la calidad, trazabilidad y seguridad de la cadena agroalimentaria, en colaboración con otros órganos competentes en la materia. En esta misma DG, el Servicio de Sanidad, Trazabilidad y Bienestar Animal se encarga de coordinar, supervisar y, en su caso, ejecutar los planes de prevención, control y erradicación de enfermedades de los animales, de las campañas de saneamiento y de los planes de control e higiene de los medios de producción ganaderos y los productos de origen animal, así como de las medidas de apoyo para su ejecución.

Dentro de la Dirección General de Salud Pública, se integran el Servicio de Seguridad Alimentaria y Sanidad Ambiental, que a su vez incluye la Sección de Higiene Alimentaria y la Sección de Zoonosis. Este servicio es el encargado de aplicar el PACCA en coordinación con los demás departamentos con responsabilidades.

En el Departamento de Ciudadanía y Derechos Sociales, es el Servicio de Normativa y Supervisión de Mercado, integrado en la DG de Protección de Consumidores y Usuarios, al que corresponde las tareas de regulación del mercado que garanticen la protección del consumidor en términos de preparación y coordinación normativa, así como las actuaciones de control de mercado.

En definitiva, la distribución de tareas es la que sigue:

- Las OCAs llevan a cabo los controles oficiales de los programas de control de la cadena alimentaria.



- Los Servicios Farmacéuticos de los Servicios Provinciales de Sanidad ejecutan la inspección y control de las industrias y establecimientos de alimentación, así como de productos alimenticios y alimentos en las distintas fases.
- Los Servicios Veterinarios Oficiales en las zonas veterinarias, se encargan del control de las industrias y establecimientos de alimentación y productos alimenticios en las distintas fases.

Vistas las autoridades competentes en materia de control oficial, hay que realizar una vuelta al PNCOCA para examinar la metodología de los controles que se relacionan con este TFG, resaltando los aspectos objeto de control más relevantes para la detección del fraude. Es preciso comenzar por el objetivo de alto nivel : “Reducir los riesgos para la salud de personas, animales y plantas a través del cumplimiento por los operadores implicados en la producción primaria de la normativa aplicable en seguridad alimentaria, sanidad animal y vegetal y bienestar animal”. Éste objetivo está dividido en 8 objetivos estratégicos, de los cuales únicamente dos afectan de manera directa al propósito de este apartado.

- Objetivo estratégico 1.1.: se controla el libro de registro de explotación y la documentación del movimiento de animales. Se seleccionará una muestra mínima del 1% de las explotaciones que forman el universo de control, porcentaje que será distribuido por especies y de forma proporcional a la importancia de las capacidades productivas de cada sector en la CCAA. La selección de las explotaciones se realiza teniendo en cuenta un análisis de riesgo, exceptuando un 15% que será por muestreo aleatorio.
- Objetivo estratégico 1.6.: bienestar animal en explotaciones ganaderas y en el transporte de animales. Como elementos a controlar dentro de este Plan, se realiza el examen de las instalaciones, de los animales, de la documentación o de otros aspectos establecidos en la normativa. También se comprueba la documentación y coherencia de censos con lo recogido en el sistema REGA. Se propone analizar el 3% de las explotaciones inspeccionables, siendo deseable alcanzar el 5%, y siempre superando el 1%. El 25% de los controles serán aleatorios y el 75% dirigidos, aunque se da cierta libertad a las CCAA para que lo ajusten según sus recursos.

El objetivo de alto nivel 3: “Garantizar la consecución de un elevado nivel de calidad alimentaria, incluidas la Calidad Diferenciada y la Producción Ecológica, de los productos agroalimentarios e intensificar la lucha contra el fraude alimentario, a lo largo de toda la cadena alimentaria, para conseguir la sostenibilidad del sistema agroalimentario, aumentar la

confianza de los consumidores, garantizar sus derechos a la información y a la protección de sus intereses económicos frente a prácticas comerciales desleales”. Está dividido en dos objetivos estratégicos, los cuales comparten metas similares, pero su ámbito de aplicación es distinto.

- El objetivo 3.1: Calidad Alimentaria y Producción ecológica (AESAN, 2023). Los controles incluyen, entre otros: control documental, control de sistemas de autocontrol y trazabilidad, balance de masas, control de existencias y aforos de los productos, toma de muestras, control del etiquetado y documentos de acompañamiento de los productos, control de contenido efectivo de los productos envasados. En producción ecológica el control es más estricto, puesto que todos los operadores o grupos de operadores (a excepción del caso de venta directa a consumidor final de productos sin envasar) reciben inspecciones anuales, en las que se realiza, al menos, un control de trazabilidad y un control de materias/masas (MAPA, 2021b).

Así pues, se comprueba que “sobre el papel” sí que existen los registros y controles suficientes como para creer que la trazabilidad del huevo en España está bien planeada y es un sistema fiable. Sin embargo, también se podría argumentar que la trazabilidad del huevo en España es de difícil seguimiento, comenzando por el enorme entramado de autoridades competentes que han de coordinarse, de las que en este apartado solo se ha mencionado una ínfima parte; y pasando por la aleatoriedad de los controles a los distintos operadores de la cadena alimentaria. No hay que perder de vista que solamente se ha pormenorizado en la Comunidad Autónoma de Aragón. Si se pone por caso un lote de huevos producido en una Comunidad Autónoma, que se marcan, clasifican y embalan en otra distinta, y que por último se envían para su venta a otras tantas, la cantidad de autoridades que han de intervenir, con sus estructuras particulares, interviniendo en momentos distintos y aplicando sus programas propios, hace pensar que el control de la trazabilidad de ese lote sea bastante complejo, y que en el camino haya muchas oportunidades de cometer fraudes.

De hecho, las propias autoridades competentes reconocen este problema. Prueba de ello es la nota que se puede leer en el documento que describe el PNCO de la Calidad Alimentaria (MAPA, 2021a):

En las memorias anuales aparecen datos no coherentes por no tener establecidos de forma homogénea los distintos Servicios que actúan, de las distintas CCAA, los conceptos de inspección (con o sin visita), alcance de la inspección, visita de inspección, punto de control, controles durante la visita de inspección, análisis de muestras, determinación

analítica, incumplimientos, presuntas infracciones (tras finalizar procedimiento sancionador), etc. Desde la transferencia de competencias en 1995 hasta ahora, aun habiendo voluntad de coordinación entre las CCAA, no se ha tomado una iniciativa de la entidad de coordinación, apoyada por criterios técnicos robustos, para conseguirlo, ahora, después de 25 años de singladura parece tarde, pero nunca es tarde si la dicha es buena.

## 4.2 Nuevas tecnologías con aplicaciones en trazabilidad

Visto el apartado anterior, queda claro que es interesante buscar ayuda en las nuevas tecnologías para dibujar un sistema de trazabilidad más eficiente, rápido y realista.

La Industria 4.0 debe su nombre a ser considerada la cuarta revolución industrial. Ésta se sostiene en la aparición de diversas tecnologías, entre las que figuran como más extendidas: Internet of Things (IoT), Big Data, Blockchain, Machine Learning (inteligencia artificial en general), realidad aumentada, cloud computing o robots autónomos (Noble et al., 2022; Latino et al., 2022; Yadav et al., 2022).

En este apartado se describirán las que, por su versatilidad, aplicación en casos reales y referencias científicas son las más relevantes y pueden suponer un avance en la garantía de trazabilidad de los huevos para consumo humano directo.

### 4.2.1 Internet de las cosas (Internet of Things, IoT por sus siglas en inglés)

Internet de las cosas (IoT) es un término amplio que se utiliza para la interconexión de dispositivos y objetos a través de una red (bien sea privada o Internet, la red de redes), dónde todos ellos podrían ser visibles e interaccionar, lo que les permite generar, intercambiar y utilizar datos, haciendo posible la monitorización de procesos en cualquier momento y lugar (Internet Society, 2015). En definitiva, el uso de la tecnología para recopilar información de un proceso y comunicarla a otros dispositivos (Yadav et al., 2022).

Un sistema de trazabilidad basado en IoT permite una monitorización a tiempo real de parámetros como la temperatura, humedad, localización, apertura del medio de transporte, etc. El uso de estos sensores inteligentes mejora la eficiencia de los sistemas de monitoreo y, por tanto, también el control de calidad en las industrias, así como el rendimiento económico ( Wang et al., 2015; ; Yadav et al., 2022; Mehannaoui, Mouss y Aksa, 2023).

Mehannaoui, Mouss y Aksa (2023) hacen una clasificación y descripción muy didáctica de diferentes tecnologías dentro de este campo del IoT que se exponen a continuación.

#### *4.2.1.1 Dispositivos para identificación y monitorización:*

##### **Códigos de barras**

Se trata de etiquetas que pueden ser leídas por lectores ópticos. Se utilizan para grabar información sobre el producto que después se puede recuperar o consultar gracias a los lectores. Pueden ser de dos tipos:

- De una dimensión: compuesta por barras verticales paralelas, que incluyen patrones de “barras de guarda” al final del código, lo que marca el inicio y el fin de las posiciones y permite la lectura bidireccional del código.
- De dos dimensiones o Quick Response (QR): su ventaja frente a las anteriores es la cantidad de información que son capaces de almacenar. Además, los datos son directamente reconocidos por las aplicaciones, lo que permite su uso en protocolos multimedia, como su escaneo directo mediante SmartPhones para acceder a páginas web con información del producto.

##### **RFID (radio frequency IDentification)**

Es una tecnología “contactless” para la identificación automática de objetos asociados a un transpondedor (etiqueta). Se recopila información en tarjetas de memoria (las etiquetas) y los lectores de RFID capturan esta información y la transfieren a una base de datos para que puedan ser revisadas de forma remota (Alfian et al., 2020).

Las etiquetas consisten en un chip, que almacena la información, y una antena, que permite la comunicación con el lector. Estas etiquetas pueden clasificarse en tres tipos (Mehannaoui, Mouss y Aksa, 2023):

- Pasivas: sin batería, obtienen la energía de ondas magnéticas o electromagnéticas emitidas por el lector al tiempo que se le requiere la información (en el momento de la lectura).
- Activas: equipadas con una batería que les permite emitir señal.
- Semi-pasivas: el sistema de comunicación es análogo al de las etiquetas pasivas, utilizando la energía que les llega del lector para generar la respuesta a la pregunta de éste. Por otro lado, utilizan la batería para, por ejemplo, almacenar datos durante el transporte.

Por su parte, los lectores son dispositivos encargados de leer las etiquetas de radiofrecuencia, escribir contenido en ellas si es necesario, y transmitir la información a una base de datos. En función del rango de transmisión de datos, se distingue entre RFID de corto alcance y RFID de largo alcance (Mehannaoui, Mouss y Aksa, 2023).

#### Red de Sensores Inalámbricos (Wireless Sensor Network)

Es una red compuesta de un gran número de sensores, que conforman los nodos de dicha red. Pueden ser estáticos o móviles y están comunicados de forma inalámbrica entre ellos (por eso forman una red). La información recopilada en los nodos se hace llegar a un nodo receptor, el cual es el que está conectado a la red de usuario vía Internet o vía satélite, mediante un sistema denominado “multi-hop routing”, por el que la información se transmite entre determinados puntos de la red (routers) hasta dicho nodo o router receptor (Mehannaoui, Mouss y Aksa, 2023), aunque hay muchas arquitecturas posibles (Yadav *et al.*, 2022; Alfian *et al.*, 2020).

La necesidad de comunicación entre los sensores conlleva la utilización de las redes de conexión inalámbrica. Es imposible concebir un sistema de trazabilidad ágil, automatizado y en tiempo real sin hacer uso de las tecnologías del IoT. Sin embargo, la recopilación de datos es sólo el principio.

#### 4.2.1.2 Tecnologías de comunicación

##### Redes de conexión inalámbrica

Las redes de conexión inalámbrica se pueden clasificar según la distancia a la que transmiten los datos. A continuación se citan algunos ejemplos, de menor a mayor alcance de cobertura (Mehannaoui, Mouss y Aksa, 2023):

- Proximidad (del orden de centímetros): NFC, o la propia RFID.
- WPAN (Wireless Personal Area): Bluetooth, Zigbee, Z-Wave y 6LoWPAN.
- WLAN (Wireless Local Area Network): WIFI, Wireless HART.
- WMAN (Wireless Metropolitan Area Network): Wi-MAX, NWave.
- WWAN (Wide Area Network Wireless): 5G, NB-IoT, WRANE, etc.

El uso de una u otra dependerá de las características de cada proyecto de IoT y de la disponibilidad de cobertura. Es evidente pensar que se utilizarán las de más corto alcance para transmisión de datos entre dispositivos dentro de una misma sala, o un mismo edificio, y las

redes de mayor alcance para, por ejemplo, el monitoreo en tiempo real de las condiciones de transporte de la mercancía en un viaje por carretera.

Los datos recopilados y comunicados hasta las bases de datos son después procesados y analizados mediante diversas tecnologías, en las que se profundizará más adelante. En este punto, simplemente dejar claro que en un sistema basado en IoT, el primer paso es la recopilación de los datos, en la que participan los dispositivos que conforman lo que propiamente se podría denominar como el sistema IoT. Sin embargo, sin las tecnologías de transmisión y procesamiento de datos, el ecosistema no estaría completo.

#### 4.2.2 Blockchain

Para la comprensión de este apartado, se recomienda leer en primer lugar el Anexo I, en el que hay una explicación de cómo funciona la blockchain de Bitcoin (BTC), así como un glosario con la terminología específica de este campo, que aparece en cursiva.

David Chaum, en su tesis doctoral, describió un sistema para establecer y mantener la confianza entre grupos que no necesariamente tenían que confiar entre sí (Dans, 2023). Años más tarde, se publicó un *whitepaper* en el que, basándose en los principios del modelo de Chaum, se proponía crear un sistema de pagos electrónicos en el que los propietarios del dinero pudieran hacer transacciones sin necesidad de un tercero de confianza. Es decir, pretendía crear una alternativa al sistema actual, sustituyendo el papel de las instituciones financieras, que son el elemento de confianza que intercede entre las partes de una transacción, por pruebas criptográficas. Las transacciones quedarían registradas en una cadena de bloques (blockchain) imposible de alterar una vez creados, y la confianza se depositará en la cadena de bloques más larga, por ser la que cuenta con más esfuerzo de computación y, por tanto, la que más veces ha sido tomada como verídica por los *mineros* para utilizar el *hash* del último bloque para resolver el problema criptográfico que les permita *minar* un nuevo bloque para obtener Bitcoin (Nakamoto, 2008). De esta forma nació el mundo de las criptomonedas y, con él, el desarrollo de la tecnología blockchain.

Actualmente, Tabatabaei, Vitenberg y Veeraragavan (2023) señalan que en los últimos años ha habido una explosión de protocolos blockchain aplicados en distintas industrias, así como de literatura científica. Sin embargo, todavía no hay una terminología comúnmente aceptada, e incluso hay diferencias en cuanto a conceptos e ideas, de manera que se pueden encontrar muchas definiciones de blockchain (Behnke y Janssen, 2020; Jaiyen, Pongnumkul y Chaovalit, 2020; Wang et al., 2021; Yadav et al., 2022; Mehannaoui, Mouss y Aksa, 2023). Pero todas ellas tienen elementos comunes. En sí, la tecnología blockchain es la más popular de las tecnologías

conocidas en inglés como Distributed Ledger Technology (Tecnología de Libro de Contabilidad Distribuido), que buscan crear un registro de transacciones de datos descentralizado, es decir, que no dependa de uno o unos pocos actores (instituciones, gobiernos, empresas...), sino que sean los usuarios de la red los que puedan editar y guardar las copias de ese libro de contabilidad, lo que se denomina un sistema entre iguales o peer-to-peer (P2P). Como se verá más adelante, esto será así en mayor o menor medida según el tipo de blockchain y el proyecto al que se atiende.

Para comprender por qué esta tecnología es interesante para la trazabilidad en la cadena alimentaria, es preciso conocer su funcionamiento. Sin embargo, dada la gran cantidad de proyectos existentes (Bitcoin, Ethereum, Polkadot, Cardano, Solana, HyperLedger, Corda, Quorum...), algunos de los cuales difieren en gran medida unos de otros, es imposible, debido al límite de espacio, hacer una explicación que abarque todo el espectro. Así pues, se abordarán algunos de los aspectos más relevantes para una comprensión del potencial uso de esta tecnología en la cadena alimentaria.

Tabatabaei, Vitenberg y Veeraragavan (2023) han establecido la siguiente clasificación para describir los actores de una blockchain. Como los propios autores puntualizan, hay proyectos en los que esos papeles se comparten y otros en los que directamente no existen, pero es una guía útil para el propósito de este trabajo:

- **Creadores de transacciones:** los protagonistas de las transacciones de datos (con datos se debe entender desde números que corresponden a una cierta cantidad de *tokens*, a *Smart Contracts*).
- **Proponentes y aceptores:** Al tratarse de un sistema P2P, será necesario que las transacciones sean validadas de algún modo para que no se incluyan transacciones falsas en los bloques. Este es el papel de los aceptores. Para conseguir su propósito, se utiliza un *protocolo de consenso*. Los protocolos de consenso tienen problemas con la escalabilidad. Para evitarlo, muchos protocolos utilizan la figura de los proponentes como intermediarios entre los creadores de transacciones y los aceptores. Actúan reduciendo el número de transacciones a procesar por los aceptores, lo cual pueden lograr de tres formas: verificación y preautorización, esto es, eliminando las inválidas o no autorizadas; introduciendo una tasa de control o juntando varias transacciones en un bloque.
- **Almacenadores de datos:** guardan las actualizaciones que han sido validadas por los aceptores, lo cual significa guardar la blockchain. Junto a los proponentes y los

aceptores, contribuyen a la seguridad de los datos haciéndolos infalsificables gracias al uso de criptografía.

- **Query issuers:** lo que se podría traducir como “emisores de consultas”. Emiten consultas de diferentes tipos acerca de los datos de la blockchain. Es decir, buscan datos en la blockchain.
- **Query responders:** que se traduciría como “proveedores de respuesta a las consultas”. Es una tarea llevada a cabo por algunos dispositivos informáticos que comparten el papel de almacenadores de datos a la vez que dan respuesta a las consultas de los query issuers con datos de la blockchain guardada.

A efectos del presente trabajo, los más importantes son los creadores de transacciones, los proponentes, los aceptores y los almacenadores de datos.

#### 4.2.2.1 Tipos de blockchain según acceso

Tabatabaei, Vitenberg y Veeraragavan, (2023) diferencian los tipos de blockchain en función de qué participantes pueden proponer cambios en la cadena y leer o editar los datos. Por un lado, están las blockchain que son de acceso restringido, es decir, solamente pueden proponer actualizaciones (transacciones) y leer los datos aquellos con permiso para ello. Dentro de este grupo también distinguen entre *update-access-restricted* (cualquiera puede leer la información pero solo aquellos con permiso pueden proponer actualizaciones) y *query-access-restricted* (cualquiera puede hacer transacciones pero solo pueden leer los datos aquellos con permiso para hacerlo). Por otro lado, están aquellas que no tienen ninguna restricción, como el caso de Bitcoin.

Otro punto importante es el nivel de descentralización de la cadena. Realmente, lo primordial es saber en quién se deposita la confianza, es decir, quién puede aceptar las transacciones, crear los bloques y guardar y consultar la información.

Hay blockchains totalmente descentralizadas a gran escala, como Bitcoin. Estas nunca son *query-access-restricted* (cualquiera puede leer y guardar la información), pero pueden ser *update-access-restricted*. Éste último caso se puede denominar como modelo mixto, entre las totalmente descentralizadas y las blockchain de consorcio.

Arooj, Farooq y Umer (2022) propusieron otra clasificación:

- **Públicas:** totalmente descentralizadas, cualquiera puede participar en la red. Siguen todos los protocolos característicos de una blockchain pública, a saber: toma de



decisiones por consenso entre todos los nodos, sistema de incentivos y recompensas para los nodos...

- **Privada:** parcial o totalmente centralizada. Los nodos requieren consentimiento para entrar en la red. Las transacciones no son públicas y solo aquellos con autorización pueden acceder a los datos.
- **Blockchain de consorcio:** son un tipo de blockchain privadas, gobernadas por un grupo de autoridades que colaboran en pos de un objetivo común.
- **Blockchain híbridas:** presentan las ventajas de la privacidad de las cadenas privadas junto con la transparencia y la seguridad que proporcionan las blockchain públicas.

Aunque cualquier acercamiento a una red centralizada va en contra de la filosofía inicial con la que se creó esta tecnología (Stark, 2022), es cierto que las redes privadas, de consorcio o híbridas suponen una buena alternativa para los negocios, ya que habrá compañías que no quieran hacer públicos ciertos datos referentes a sus transacciones. Además, como se verá a continuación, se puede solucionar parte de los problemas de escalabilidad característicos de las redes públicas que trabajan con *prueba de trabajo*.

#### 4.2.2.2 El “trilema” blockchain

Descentralización, escalabilidad y seguridad son tres características deseables para una blockchain. Sin embargo, siempre que se priorice dos de ellas, habrá una tercera que quedará más descuidada. Si se aboga por la descentralización y la seguridad, los protocolos necesarios para conseguirlo llevarán a una velocidad de transacciones muy lenta (menor escalabilidad), lo que ocurre con Bitcoin actualmente. Si se prefiere descentralización y escalabilidad, se llegará a una red menos segura, puesto que habrá que eliminar o cambiar parte de los protocolos que proporcionan esa seguridad, pero que ralentizan la tasa de transacciones. Una mayor tasa de transacciones significa que los atacantes tienen más oportunidades para actuar. Si se impulsa la escalabilidad y la seguridad, será necesaria una organización similar a la de una red privada, restringiendo el acceso a unos participantes concretos, confiables, y recurriendo al manejo centralizado de la información, con lo que la descentralización se ve mermada.

Y es que este “trilema” afecta a la trazabilidad alimentaria. Si se quiere adoptar un sistema de trazabilidad basado en esta tecnología, necesariamente ha de ser seguro (de lo contrario, no tiene sentido su implantación), pero ha de ser lo suficientemente rápido como para satisfacer la demanda de flujo de datos entre los actores de la cadena alimentaria. El punto de la

descentralización parece menos importante en el área de los negocios. Se entiende que los actores preferirán sacrificar esta característica para obtener así un tratamiento más privado de sus datos (Binance Academy, 2022).

Se han desarrollado distintas medidas para dar solución a este problema, desde la adopción de mecanismos de consenso “más ágiles” que la prueba de trabajo, como podrían ser la Proof of Stake o Proof of Space (Arooj, Farooq y Umer, 2022), a las llamadas soluciones de segunda capa, que en definitiva buscan reducir la cantidad de información que se almacena en la blockchain principal.

#### 4.2.3 Inteligencia Artificial

La inteligencia artificial es una rama de la informática que combina lógica matemática, estadística y probabilidad para imitar el comportamiento cognitivo de los humanos (Kutyauripo, Rushambwa y Chiwazi, 2023). Básicamente, su función es conseguir que las máquinas desarrollen comportamientos similares a los de los seres humanos a la hora de resolver problemas. Es decir, desempeñar funciones propias de los humanos, como ver (reconocimiento y procesamiento de imágenes), procesar el lenguaje, moverse, etc.

Los modelos actuales de inteligencia artificial corresponden al grupo de las llamadas inteligencias artificiales débiles, es decir, que pueden imitar el comportamiento humano para realizar una serie de tareas para las que están programadas, pueden descubrir relaciones, inferir, razonar... pero no tienen la capacidad de, por ejemplo, interpretar emociones, o tomar conciencia de sí misma. Esto último es lo que se denomina inteligencia artificial fuerte, pero por ahora no existen modelos en este ámbito.

Es preciso distinguir la inteligencia artificial del aprendizaje automático, puesto que en la actualidad es muy frecuente confundir ambos términos. Como ya se ha expuesto, la inteligencia artificial pretende imitar comportamientos humanos para la resolución de problemas. Por su parte, el Machine Learning (ML) consiste en una serie de algoritmos que permiten a los modelos de IA aprender, es decir, generalizar el conocimiento obtenido a partir de una experiencia. Por tanto, el ML es una rama de la inteligencia artificial. Dentro de los tipos de ML existentes, el que ha supuesto una mayor disrupción y aceleramiento para el desarrollo e implantación de la IA es el Deep Learning (DL). El DL es a su vez una rama del ML (IBM, sin fecha), que utiliza redes neuronales de más de tres capas, las cuales pueden ser entrenadas con cantidades enormes de datos sin necesidad de intervención humana que los procese o modele previamente, encontrando relaciones entre ellos, siendo capaz de aprender de forma autónoma (IBM, 2023).

#### 4.2.4 Métodos para la identificación del sistema de cría

En este apartado, se muestran algunos ejemplos de protocolos analíticos que prometen ser útiles para la identificación del sistema de cría al que corresponden los huevos para consumo humano.

Puertas y Vázquez (2019) desarrollaron un método con el que consiguieron una precisión del 100% en la clasificación por sistemas de cría. Utilizaron el extracto lipídico de la yema del huevo, analizándolo con UV-VIS-NIR y aplicando análisis discriminante cuadrático. A pesar de los buenos resultados, si se atiende al tamaño de la muestra (48 huevos), queda claro que se necesita más investigación para que pueda ser validado para su uso oficial o profesional.

El mismo grupo de investigación ha seguido trabajando en este ámbito y en alternativas más rápidas (Puertas, Cazón y Vázquez, 2023). Analizaron el plasma obtenido tras la centrifugación del huevo entero y, de las distintas técnicas aplicadas, la que mejor resultados obtuvo fue la espectrofotometría en el rango visible.

Hoffman et al. (2022) propusieron un método simple rápido y efectivo, combinando espectrofotometría NIR con análisis químico, utilizando equipos portátiles y de fácil manejo. Aunque los resultados son prometedores, los propios autores admitieron que es necesario seguir investigando con muestras de tamaño mayor e introduciendo más parámetros que pueden influir en la calidad y composición química del huevo y, por tanto, en el resultado del análisis, como puede ser el tiempo transcurrido desde la puesta.

Otros autores abogaron por el uso de inteligencia artificial para la identificación única de los huevos, utilizando visión artificial para analizar las características de la superficie de la cáscara de huevo, ya que estas son exclusivas para cada huevo. Los algoritmos de DL son capaces de extraer dichas características de forma autónoma (Chen et al., 2023).

#### 4.3 Posible escenario de la trazabilidad del huevo de categoría A a futuro

En la Guía para la Aplicación del Sistema de Trazabilidad en la Empresa Agroalimentaria (MAPA, 2009), se proponen ocho fases para su implantación, a saber:

- Estudiar los sistemas de archivos previos
- Consultar con proveedores y clientes
- Definir ámbito de aplicación
- Definir criterios para la agrupación de productos en relación con la trazabilidad

- Establecer registros y documentación necesaria
- Establecer mecanismos de validación/verificación por parte de la empresa
- Establecer mecanismos de comunicación inter-empresas
- Establecer procedimiento para localización, inmovilización y, en su caso, retirada de productos.

Sin embargo, estos pasos bien se podrían condensar en los cuatro principios que recoge Latino et al. (2022):

- Identificación de los elementos trazables. Se debe decidir el nivel de detalle de los elementos trazables (lote, unidad de venta, unidad logística, huevo por huevo...) y el método para su identificación única (qué tipo de datos se recogen).
- Elección de medios para la recolección de datos.
- Integración de los datos.
- Compartir los datos en distintos niveles de accesibilidad.

La integración de Blockchain con IoT es la tecnología de Industria 4.0 más desarrollada en la cadena agroalimentaria (Yadav et al., 2022). Y es que esta combinación sirve para cubrir tres de los cuatro principios, siendo el de la integración de los datos el que quedaría por atender. Sumando el uso de inteligencia artificial, se puede convertir los datos obtenidos en tiempo real en decisiones prácticas (Ramírez-Asis et al., 2022). Gracias a la IA se puede disminuir el desperdicio alimentario, se mejora la predicción de precios, se optimizan los procesos, el manejo de inventarios y logística en general (Kutyauripo, Rushambwa y Chiwazi, 2023). Además, como se ha expuesto anteriormente, también puede ser una herramienta para la identificación única de los huevos. De hecho, en el campo de las aplicaciones de la IA para la cadena alimentaria, Monteiro y Barata (2021) encontraron que la combinación más extendida es la de computer vision junto con ML.

El disponer de datos informatizados a tiempo real abre la posibilidad del uso de SmartContracts entre operadores de la cadena. El formato condicional en el que están redactados incentiva las buenas prácticas por parte de los operadores. Gracias al IoT y blockchain, se puede monitorizar la mercancía prácticamente desde el momento de la puesta, pudiendo conocer desde el número de huevos recolectados por día, el número de huevos que conforman un lote, la localización (el estuche) en el que se encuentran esos huevos, el camión que lo ha transportado junto con otros parámetros relativos al transporte (tiempo, temperatura, recorrido, aperturas del camión...), etc. Todos esos datos quedarán registrados en la blockchain. Cualquier incidencia quedará permanentemente reflejada, si ésta es lo suficientemente grave como para incumplir alguna de

las condiciones fijadas en el SmartContract, el pago no se efectuará. Es más, si, por ejemplo, de un punto se registran salidas de huevo por una cantidad superior a las entradas, será un dato incoherente y esa transacción no será aceptada y no entrará en la blockchain, por lo que la trazabilidad de esos huevos no estará completa y no podrá avanzar en la cadena.

Evidentemente, este marco teórico solamente funciona si todos los eslabones de la cadena operan bajo el mismo sistema de trazabilidad, o al menos con sistemas compatibles. Para asegurar un sistema de trazabilidad robusto, parece imprescindible una estandarización o una coordinación entre todos los operadores, desde las granjas de producción hasta los canales de distribución al consumidor final.

Actualmente existen casos como el de la empresa Walmart, Inc. (minorista de comestibles más grande de Estados Unidos) que, con el objetivo de ayudar a proteger la seguridad alimentaria en su red global, implementó un sistema de trazabilidad basado en Hyperledger Fabric, una blockchain privada open source que ofrece una velocidad de transacciones, nivel de privacidad e interoperabilidad con otras blockchain que la sitúan como una de las mejores opciones para el ámbito de la empresa (Hyperledger, 2018). La adopción de esta tecnología surgió a raíz de una petición del vicepresidente de seguridad alimentaria de la compañía, que pidió a su equipo que averiguara el origen de un paquete de mango en rodajas. A pesar de contar con los datos en su sistema de trazabilidad, tardaron casi 7 días en recopilar toda la información. Tras la creación del sistema de trazabilidad basado en Hyperledger Fabric, pudieron completar esta misma tarea en 2,2 segundos (Sristy, 2021). Ante el éxito de esta decisión, Walmart quiso expandir este sistema, pero contando con más participantes, de cara a que se ajustara a su red logística, de magnitud global. Por tanto, es un ensayo extrapolable a prácticamente cualquier cadena de suministro alimentaria. En colaboración con IBM e involucrando a empresas como Nestlé y Unilever, se creó IBM Food Trust. Actualmente, Walmart utiliza la blockchain de IBM, creada sobre Hyperledger Fabric, en 25 productos (mangos, fresas, pollo, cerdo, yogures, bebidas vegetales, ensaladas IV gama...) procedentes de 5 proveedores distintos (Hyperledger, 2019).

## 4. Conclusiones

1. El análisis llevado a cabo acerca del marco normativo de la trazabilidad y control de huevos de consumo humano permite concluir que su aplicación en la Unión Europea presenta limitaciones para garantizar la legitimidad de los mismos.

2. El Internet de las cosas (IoT) ofrece grandes posibilidades para realizar el seguimiento de los huevos a través de la interconexión de todos los elementos que forman parte de la cadena de suministro.
3. La tecnología blockchain proporciona garantías en el flujo de información fiable y actualizada, sin posibilidades de modificación, mediante la conexión de todos los operadores involucrados en la cadena de producción y suministro.
4. La inteligencia artificial aporta ventajas importantes para procesar los datos y detectar incoherencias de forma automática y en tiempo real.
5. La integración de tecnologías 4.0 en el sector de huevos constituye un reto para lograr un sistema de trazabilidad sólido y fiable para prevenir fraudes, garantizar el origen, permitir una actuación más rápida y efectiva en caso de alerta alimentaria y agregar valor al producto final.

## Conclusions

1. The analysis of the regulatory framework for traceability and control of human consumption eggs leads to the conclusion that its application in the European Union has limitations in ensuring their legitimacy.
2. The Internet of Things (IoT) offers great possibilities for tracking eggs by the interconnection of all elements involved in the supply chain.
3. Blockchain technology guarantees the flow of reliable and updated information without possibilities of modification, by connecting all operators involved in the production and supply chain.
4. Artificial intelligence brings significant advantages in processing data and detecting inconsistencies automatically and in real-time.
5. The integration of 4.0 technologies in the egg sector constitutes a challenge to achieve a robust and reliable traceability system to prevent fraud, ensure origin, enable a faster and more effective response in case of food alerts, and add value to the final product

## Valoración personal

Para la elaboración de este trabajo he tenido que aplicar conocimientos y competencias adquiridas durante el Grado. Gracias a la base teórica formada tras haber superado los cursos anteriores, considero que he sido capaz de representar el estado actual de la trazabilidad del huevo de categoría A en España, así como de consultar literatura científica para profundizar en un campo desconocido para mí, la tecnología de la industria 4.0, buscando aplicaciones relacionadas con el campo de la trazabilidad alimentaria para tratar de prever escenarios futuros en la materia.

## Bibliografía

*Todas las referencias a direcciones web corresponden a un su recurso permanente referenciado en el Internet Archive, con lo que se evita que puedan ser alteradas o desaparecer en un futuro. Si las fuentes originales siguen estando disponibles, se puede simplemente teclear desde el segundo <https://> en la dirección, omitiendo la primera parte de la URL referente a archive.org*

AESAN (2023) «Plan Nacional de Control Oficial de la Cadena Alimentaria (PNCOCA) - Versión 3».

Alfian, G. *et al.* (2020) «Improving efficiency of RFID-based traceability system for perishable food by utilizing IoT sensors and machine learning model», *Food Control*, 110(107016). doi: 10.1016/j.foodcont.2019.107016.

Anónimo (2021) *Mercadona venderá exclusivamente huevos «libres de jaula» a partir del 1 de enero de 2023*. Disponible en: <https://web.archive.org/web/20230426113820/https://avicultura.com/mercadona-vendera-exclusivamente-huevos-libres-de-jaula-a-partir-del-1-enero-2023/>.

Arooj, A., Farooq, M. S. y Umer, T. (2022) «Unfolding the blockchain era: Timeline, evolution, types and real-world applications», *Journal of Network and Computer Applications*. Elsevier Ltd, 207(103511). doi: 10.1016/j.jnca.2022.103511.

Behnke, K. y Janssen, M. F. W. H. A. (2020) «Boundary conditions for traceability in food supply chains using blockchain technology», *International Journal of Information Management*. Elsevier, 52(Mayo 2019), p. 101969. doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2019.05.025.

Binance Academy (2022) *¿Qué es el trilema de la blockchain?* Disponible en: <https://web.archive.org/web/20230926182912/https://academy.binance.com/es/articles/what-is-the-blockchain-trilemma> (Accedido: 26 de septiembre de 2023).

Bitcoin (sin fecha) *Block chain*. Disponible en: [https://web.archive.org/web/20231004100247/https://developer.bitcoin.org/reference/block\\_chain.html](https://web.archive.org/web/20231004100247/https://developer.bitcoin.org/reference/block_chain.html).

Chen, Z. *et al.* (2023) «Eggshell biometrics for individual egg identification based on convolutional neural networks», *Poultry Science*. Elsevier Inc., 102(102540). doi: 10.1016/j.psj.2023.102540.

Comisión Europea (2002) «Directiva 2002/4/CE de la Comisión de 30 de enero de 2002 relativa al registro de establecimientos de gallinas ponedoras, cubiertos por la Directiva 1999/74/CE del Consejo», *Diario Oficial de la Unión Europea*, L 30, p. 44.

Comisión Europea (2008) «Reglamento (CE) no 589/2008 de la Comisión de 23 de junio de 2008 por el que se establecen las disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) no 1234/2007 del Consejo en lo que atañe a las normas de comercialización de los huevos», *Diario Oficial de la Unión Europea*, L 163.

Comisión Europea (2019) «Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: El Pacto Verde Europeo». Bruselas.

Comisión Europea (2020) «Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. “Estrategia «de la granja a la mesa» para un sistema alimentario justo, saludable y respetuoso con el medio ambiente”». Bruselas.

Comisión Europea (2021) «Comunicación de la Comisión relativa a la iniciativa ciudadana europea (ICE) “End the Cage Age”». Bruselas.

Comisión Europea (2023) «Draft-Commission Delegated Regulation (EU) .../... amending Regulation (EU) No 1308/2013 of the European Parliament and of the Council, as regards marketing standards for eggs». Disponible en: [https://web.archive.org/web/20231031165623/https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=pi\\_com%3AAres%282023%292826293](https://web.archive.org/web/20231031165623/https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=pi_com%3AAres%282023%292826293).

Consejo Europeo y Parlamento Europeo (2017) «Reglamento (UE) 2017/625 del Parlamento Europeo y del Consejo de 15 de marzo de 2017 relativo a los controles y otras actividades oficiales realizados para garantizar la aplicación de la legislación sobre alimentos y piensos, y de las normas sobre salud y», *Diario Oficial de la Unión Europea*, L 95.

Cortes de Aragón (2006) «Ley 9/2006, de 30 de noviembre, de la Calidad Alimentaria de Aragón», *Boletín Oficial de Aragón*, 142, p. 15987.

Dans, E. (2023) *Todo vuelve a cambiar. Cómo la Web3 revolucionará el mundo tal y como lo conocemos*. Primera ed. Barcelona: Deusto.

EFEAgro (2017) *Carrefour dejará de vender en 2025 huevos con su marca de gallinas en jaula*. Disponible en: <https://web.archive.org/web/20230426113426/https://efeagro.com/carrefour-2025-huevos-gallinas-jaula/>.

EFEVerde (2022) *1,4 millones de firmas exigen poner fin a la era de las jaulas en granjas*. Disponible en: <https://web.archive.org/web/20230426114600/https://efeverde.com/14-millones-firmas-fin-jaulas-granjas/>.

Ethereum (2023a) *Ethereum Glossary*. Disponible en: <https://web.archive.org/web/20231004100058/https://ethereum.org/es/glossary/>.

Ethereum (2023b) *Introduction to smart contracts*. Disponible en: <https://web.archive.org/web/20231004095351/https://ethereum.org/en/smart-contracts/>.

Gobierno de Aragón (2018) «DECRETO 76/2018, de 24 de abril, del Gobierno de Aragón, por el que se regula el Registro Sanitario de Establecimientos Alimentarios de Aragón y se establece el procedimiento de inscripción y autorización de los establecimientos alimentarios.», *Boletín Oficial de Aragón*, 84, pp. 13702-13707.

Gobierno de Aragón (2021) *Plan Autonómico de Control de la Cadena Alimentaria*. Segunda ed.

Hoffman, L. C. *et al.* (2022) «Unscrambling the Provenance of Eggs by Combining Chemometrics and Near-Infrared Reflectance Spectroscopy», *Sensors*, 22(4988). doi:



10.3390/s22134988.

Hyperledger (2018) «HyperLedger Fabric whitepaper», p. 2.

Hyperledger (2019) «Case Study: How Walmart brought unprecedented transparency to the food supply chain with Hyperledger Fabric Challenge», *Hyperledger*.

IBM (2023) *AI vs. Machine Learning vs. Deep Learning vs. Neural Networks: What's the difference?* Disponible en:  
<https://web.archive.org/web/20231003120700/https://www.ibm.com/blog/ai-vs-machine-learning-vs-deep-learning-vs-neural-networks/>.

IBM (sin fecha) *What is deep learning?* Disponible en:  
<https://web.archive.org/web/20231031174952/https://www.ibm.com/topics/deep-learning>  
(Accedido: 3 de octubre de 2023).

INPROVO (2004) «Guía para la implantación de un sistema de trazabilidad en el sector del huevo». Madrid.

Internet Society (2015) *Internet Society global internet report 2015: mobile evolution and development of the internet*. Disponible en:  
<https://web.archive.org/web/20231031175251/https://www.internetsociety.org/globalinternetreport/>.

Jaiyen, J., Pongnumkul, S. y Chaovalit, P. (2020) «A proof-of-concept of farmer-to-consumer food traceability on blockchain for local communities», en *2020 International Conference on Computer Science and Its Application in Agriculture, ICOSICA 2020*. doi: 10.1109/ICOSICA49951.2020.9243172.

Kutyauripo, I., Rushambwa, M. y Chiwazi, L. (2023) «Artificial intelligence applications in the agrifood sectors», *Journal of Agriculture and Food Research*. Elsevier B.V., 11, p. 100502. doi: 10.1016/j.jafr.2023.100502.

Latino, M. E. *et al.* (2022) «Voluntary traceability in food supply chain: a framework leading its implementation in Agriculture 4.0», *Technological Forecasting and Social Change*. Elsevier Inc., 178(121564). doi: 10.1016/j.techfore.2022.121564.

MAPA (2003) «Real Decreto 372/2003, de 28 de marzo, por el que se establece y regula el Registro generalde establecimientos degallinasponedoras.», *Boletín Oficial del Estado*, 78, pp. 1512-1514.

MAPA (2008) «Real Decreto 226/2008, de 15 de febrero, por el que se regulan las condiciones de aplicación de la normativa comunitaria de comercialización de huevos.», *Boletín Oficial del Estado*, 56, pp. 13319-13322. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2008-4208>.

MAPA (2009) «Guía para la aplicación del sistema de trazabilidad en la empresa agroalimentaria».

MAPA (2021a) «Programa Nacional de Control de la Calidad Alimentaria».

MAPA (2021b) «Programa Nacional de Control Oficial de la Producción Ecológica».

Mehannaoui, R., Mouss, K. N. y Aksa, K. (2023) «IoT-based food traceability system: Architecture, technologies, applications, and future trends», *Food Control*. Elsevier Ltd, 145(Marzo 2022), p. 109409. doi: 10.1016/j.foodcont.2022.109409.

Ministerio de Sanidad Política Social e Igualdad (2011) «Real Decreto 191/2011, de 18 de

febrero, sobre Registro General Sanitario de Empresas Alimentarias y Alimentos.», *Boletín Oficial del Estado (BOE)*, 99/2011, pp. 13909-13926.

Monteiro, J. y Barata, J. (2021) «Artificial intelligence in extended agri-food supply chain: A short review based on bibliometric analysis», *Procedia Computer Science*. Elsevier B.V., 192, pp. 3020-3029. doi: 10.1016/j.procs.2021.09.074.

Nakamoto, S. (2008) «Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System».

Noble, S. M. *et al.* (2022) «The Fifth Industrial Revolution: How Harmonious Human–Machine Collaboration is Triggering a Retail and Service [R]evolution», *Journal of Retailing*. Elsevier Inc., 98(2), pp. 199-208. doi: 10.1016/j.jretai.2022.04.003.

Organización Interprofesional del Huevo y sus Productos, Instituto de Estudios del Huevo y MAPA (2009) *Guía de etiquetado del huevo*.

Parlamento Europeo y Consejo Europeo (2002) «Reglamento (CE) no 178/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo de 28 de enero de 2002 por el que se establecen los principios y los requisitos generales de la legislación alimentaria, se crea la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria y se fijan proc», *Diario Oficial de la Unión Europea*, L 31.

Parlamento Europeo y Consejo Europeo (2013) «Reglamento (UE) no 1308/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 de diciembre de 2013 por el que se crea la organización común de mercados de los productos agrarios y por el que se derogan los Reglamentos (CEE) n o 922/72, (CEE) n o 234/79, (CE) n», *Diario Oficial de la Unión Europea*, L 347.

Puertas, G., Cazón, P. y Vázquez, M. (2023) «A quick method for fraud detection in egg labels based on egg centrifugation plasma», *Food Chemistry*, 402(134507). doi: 10.1016/j.foodchem.2022.134507.

Puertas, G. y Vázquez, M. (2019) «Fraud detection in hen housing system declared on the eggs' label: An accuracy method based on UV-VIS-NIR spectroscopy and chemometrics», *Food Chemistry*. Elsevier, 288, pp. 8-14. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.02.106.

Ramírez-Asis, E. *et al.* (2022) «A review on role of artificial intelligence in food processing and manufacturing industry», *Materials Today: Proceedings*. Elsevier Ltd, 51, pp. 2462-2465. doi: 10.1016/j.matpr.2021.11.616.

Sristy, A. (2021) *Blockchain in the food supply chain? - What does the future look like?*

Disponible en:

[https://web.archive.org/web/20230323173855/https://tech.walmart.com/content/walmart-global-tech/en\\_us/news/articles/blockchain-in-the-food-supply-chain.html](https://web.archive.org/web/20230323173855/https://tech.walmart.com/content/walmart-global-tech/en_us/news/articles/blockchain-in-the-food-supply-chain.html).

Stark, J. (2022) *Atoms, Institutions, Blockchains*. Disponible en:

<https://web.archive.org/web/20230919124059/https://stark.mirror.xyz/n2UpRqwdF7yjuiPKVI CPpGoUNeDhIWxGqjulrIpyYi0>.

Tabatabaei, M. H., Vitenberg, R. y Veeraragavan, N. R. (2023) «Understanding blockchain: definitions, architecture, design, and system comparison», *Computer Science Review*. Elsevier Inc., 50(100575). doi: 10.1016/j.cosrev.2023.100575.

Wang, J. *et al.* (2015) «Wireless sensor network for real-time perishable food supply chain management», *Computers and Electronics in Agriculture*. Elsevier B.V., 110, pp. 196-207. doi: 10.1016/j.compag.2014.11.009.

Wang, L. *et al.* (2021) «Smart Contract-Based Agricultural Food Supply Chain Traceability», *IEEE*

Access, 9, pp. 9296-9307. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3050112.

Yadav, V. S. *et al.* (2022) «Exploring the application of Industry 4.0 technologies in the agricultural food supply chain: A systematic literature review», *Computers and Industrial Engineering*. Elsevier Ltd, 169(Junio). doi: 10.1016/j.cie.2022.108304.

## Anexos

### Anexo I

Las definiciones y explicaciones de este anexo han sido creadas a partir de la información contenida en las siguientes fuentes (Nakamoto, 2008; Ethereum, 2023a; Ethereum, 2023b; Bitcoin, sin fecha).

**Whitepaper:** es un documento que sirve de referencia para la comprensión del proyecto. En él se explican las bases del funcionamiento de la blockchain. Se puede decir que es el documento de lanzamiento del proyecto.

**Mineros:** los encargados de crear nuevos bloques.

**Hash:** es un valor único generado mediante una función criptográfica aplicada a un conjunto de datos de entrada. El hash se utiliza para garantizar la integridad de la información en la cadena de bloques. Esto es debido a que cualquier cambio en el conjunto de datos de entrada genera un hash distinto y las funciones criptográficas utilizadas son de una única dirección, por lo que es imposible revertir el resultado para obtener los datos de entrada. Hoy en día uno de los más seguros y utilizados es el SHA-256, usado en el protocolo blockchain.

**Tokens:** bien virtual transferible. Los hay de distintos tipos. Las criptomonedas, por ejemplo, son un tipo de token denominado token de valor.

**Smart Contracts:** programas informáticos que se guardan en la blockchain. Siguen una estructura condicional, es decir, de premisas “si se da esto, entonces se hace esto”. Se ejecuta automáticamente si se dan las condiciones fijadas.

**Protocolo de consenso:** conjunto de reglas que los nodos de una red blockchain siguen para llegar a un acuerdo sobre el estado de la cadena de bloques y validar transacciones.

**Clave pública:** un número derivado de una función unidireccional a partir de la clave privada, que puede ser compartido públicamente y utilizado por cualquiera para verificar una firma digital hecha con la correspondiente clave privada.

**Clave privada:** número secreto que solo conoce el propietario y que permite generar una firma digital.

**Minar:** este término fue acuñado con el lanzamiento de bitcoin y se refería a la creación de un nuevo bloque mediante la resolución de un problema criptográfico que conlleva un gran esfuerzo de computación. Con la creación de este nuevo bloque, se generaban nuevos BTC. Hoy en día se utiliza como sinónimo de crear o conseguir. Minar un nuevo bloque significa crear un nuevo bloque, independientemente del modo en el que se realice. Asimismo, se pueden minar tokens, que puede ser traducido como conseguir tokens, que serán de nueva creación o no en función del protocolo blockchain al que se haga referencia.

### Funcionamiento de Bitcoin

Esta es una explicación somera del funcionamiento de la red de Bitcoin (BTC). Con ello se pretende cubrir y ejemplificar algunos de los conceptos fundamentales del funcionamiento de toda blockchain que se mencionan en el apartado (4.2.2).

La criptomoneda (que es un tipo de *token*) en sí es una cadena de firmas digitales, la cadena de transacciones, la blockchain. Para transferir una moneda, el dueño ha de firmar digitalmente utilizando un *hash* de la transacción previa y la *clave pública* del próximo dueño. Estas firmas pueden ser verificadas por el beneficiario de la transacción para verificar la cadena de propiedad. La firma digital funciona de la siguiente manera: se crea un código utilizando una función que tiene en cuenta el contenido del mensaje (como se ha dicho, en este caso sería el hash previo y la clave pública del destinatario de la transacción) y la clave privada de la persona que firma. Cualquier cambio en el mensaje daría lugar a una firma nueva, por lo que en cada transacción la firma digital es única. La forma de verificar esa firma es utilizando otra función. Las variables de esta función de verificación son el mensaje, la propia firma y la clave pública de la persona que firma. El resultado de esta función será Verdadero o Falso. Como la clave privada es exclusiva de la persona firmante, la única manera de que el resultado sea Verdadero es que la haya firmado ella misma, ya que de lo contrario el hash sería distinto, por haber utilizado otra clave. Expresado en lenguaje matemático, quedaría de la siguiente forma:

$$f(\text{Mensaje}, CPriv) = \text{Firma}$$

$$v(\text{Mensaje}, \text{Firma}, CPub) = \text{Verdadero ó Falso}$$

Donde:

- $f$  es la función de firma
- $v$  es la función de verificación
- *Mensaje* es el hash del contenido de la transacción y la clave pública del usuario beneficiario
- $CP_{priv}$  es la clave privada del usuario firmante
- $CP_{pub}$  es la clave pública del usuario firmante

Sin embargo, sin ningún mecanismo adicional, el beneficiario no puede saber si una de las partes ha hecho un doble gasto, es decir, gastar los mismos bitcoin en dos transacciones distintas (en definitiva, no sabe la disponibilidad de fondos del emisor). Para poder confiar en un sistema descentralizado (sin la intervención de una entidad tercera que vele por la veracidad de las transacciones), es necesario estar al tanto de todas las transacciones que se han llevado a cabo. Por supuesto, tiene que ser público y todo el sistema ha de estar de acuerdo con la historia única del orden en que fueron recibidas.

De ahí la necesidad de la cadena de bloques, un libro de contabilidad público, que posean todos los nodos de la red, protegido por un protocolo y funciones criptográficas. La cadena de bloques es creada por los *mineros*. Éstos se encargan de recibir las transacciones emitidas para introducirlas en un bloque nuevo. Para esta explicación, la parte del bloque más importante es el encabezado (header).

El encabezado contiene los siguientes elementos:

- Versión del bloque.
- *Hash* del encabezado del bloque previo: el hecho de que los bloques contengan información del bloque anterior es lo que le da nombre a la blockchain. Es lo que hace que sea una cadena. Los bloques están enlazados de esta manera. Así se asegura que lo que queda grabado en bloques anteriores no puede ser alterado, ya que esto alteraría el *hash* de todos los bloques siguientes él.
- Merkle root: es el *hash* que resulta de aplicar la estructura del *árbol de Merkle* a las transacciones que contiene el bloque. Simplificándolo mucho, este hash está formado con la información de todas las transacciones que contiene el bloque. Esto es de especial importancia a la hora de comprobar la veracidad de transacciones realizadas en el pasado.

- Marca de tiempo (timestamp): momento en el que el minero ha comenzado a minar el bloque. Para que el bloque sea aceptado, la marca de tiempo ha de ser superior a la media de los 11 bloques anteriores, y no debe ser superior a dos horas en el futuro respecto a su reloj (el de los nodos).
- N-bits: el hash del encabezado del bloque debe ser menor o igual a este número. Esto marca el nivel de dificultad de la prueba de esfuerzo, que más adelante se explicará.
- Nonce: es un valor con el que los mineros realizan las iteraciones para conseguir un número que cumpla con la premisa del n-bits.

A continuación un ejemplo de un encabezado:

```
02000000 ..... Block version: 2

b6ff0b1b1680a2862a30ca44d346d9e8
910d334beb48ca0c00000000000000000 ... Hash of previous block's header
9d10aa52ee949386ca9385695f04ede2
70dda20810decd12bc9b048aaab31471 ... Merkle root

24d95a54 ..... [Unix time][unix epoch time]: 1415239972
30c31b18 ..... Target: 0x1bc330 * 256**(0x18-3)
fe9f0864 ..... Nonce
```

*Ilustración 1- Ejemplo de encabezado de un bloque de la blockchain de bitcoin*

Los números aparecen en forma codificada, por el límite de espacio de almacenamiento informático de los bloques.

La confianza se deposita en la cadena más larga. Los bloques válidos serán los de la cadena más larga por ser ésta la que cuenta con mayor esfuerzo de computación, es decir, aquella en la que más pruebas de esfuerzo se han superado. La prueba de esfuerzo es un tipo de protocolo de consenso cuya robustez se debe a la dificultad de encontrar un número que cumpla con la premisa de los n-bits. En el caso de Bitcoin, la dificultad se ajusta poniendo como premisa que el valor comience con una serie de ceros; a más ceros, más dificultad. La dificultad se ajusta en función del ritmo de minado de bloques, de manera que siempre se mine un bloque cada 10 minutos aproximadamente. La única forma de encontrar dicho número es haciendo pruebas aleatorias cambiando el nonce. Esto supone un esfuerzo de computación enorme, que pone límites a la saturación de la red (el ritmo de un bloque cada 10 minutos) y disuade a los nodos maliciosos de falsificar transacciones, puesto que pueden estar gastando computación (mucha energía eléctrica) para que después los demás nodos no acepten su bloque e incurrir en pérdidas económicas. El protocolo está pensado para premiar la honestidad.

Evidentemente, esta inversión en esfuerzo de computación y la honestidad de los mineros están movidas por los incentivos de minar los bloques. La primera transacción de cada bloque representará la recompensa en BTC que corresponde al minero de dicho bloque. Actualmente la recompensa es de 6,25 BTC por cada bloque. Estos BTC son nuevos, es decir, se acuña nueva moneda con cada bloque. Esta recompensa se irá mermando a medida que se avanza en la creación de bloques, hasta el momento en el que se minen todos los BTC permitidos (están limitados para evitar inflación), momento en el cual la recompensa de los mineros pasará a constar únicamente de las tasas de transacción.

Así pues, lo que mueve a los mineros para pasar la prueba de esfuerzo es conseguir BTC. Como minar un bloque puede suponer enormes costes en hardware y electricidad, es muy importante que el nuevo bloque sea aceptado. Como para crear el *hash* del nuevo bloque se utiliza el *hash* del bloque previo, el hecho de utilizar el *hash* de dicho bloque previo significa que el minero está dando por buenas las transacciones registradas en él. Si un minero no está de acuerdo con las transacciones de cierto bloque, no utilizará el *hash* de dicho bloque, sino que tomará el de otro bloque que se cree posteriormente o al mismo tiempo. Esto es algo común, se pueden crear varios bloques al mismo tiempo. En ese caso, los nodos guardarán una copia de cada una de las cadenas posibles (una para cada bloque creado al mismo tiempo) y esperará a ver cuál de ellas crece. La que más haya crecido pasados unos cuantos bloques, será la tomada como válida, porque será aquella en la que más ha confiado la comunidad de mineros. Las transacciones (válidas o no) incluidas en los bloques de las cadenas invalidadas, no serán efectivas. Este es el motivo por el cual no se pueden gastar los BTC recibidos en una transacción hasta pasados 100 bloques.

Así pues, se ha hecho un breve recorrido por el ecosistema Bitcoin para explicar algunos aspectos generales de blockchain:

- La utilidad de blockchain para un sistema descentralizado de registro de transacciones de datos.
- Existen distintos tipos de actores en un sistema blockchain.
- Los bloques están enlazados.
- La información registrada es inalterable gracias a la criptografía.
- La importancia de un protocolo de consenso (en este caso la prueba de trabajo y el escoger siempre la cadena más larga).
- La importancia de los incentivos para que se creen nuevos bloques (normalmente suele ser la obtención de *tokens*, en este caso BTC).

