



***Smart contracts: Análisis de la contratación
inteligente a través de tecnología Blockchain,
limitaciones y posibles aplicaciones en el
Derecho Mercantil***

Grado en Administración y Dirección de Empresas

Facultad de Economía y Empresa

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

AUTOR: Jorge Montero García

TUTOR: Martín José González Orús Charro

Salamanca, Septiembre 2023



VNiVERSiDAD
D SALAMANCA

Trabajo Fin de Grado

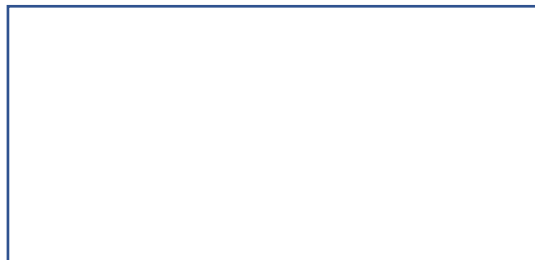
Título: *Smart contracts*: Análisis de la contratación inteligente a través de tecnología Blockchain, limitaciones y posibles aplicaciones en el Derecho Mercantil

Grado en Administración y Dirección de Empresas

Facultad de Economía y Empresa

VNiVERSiDAD D SALAMANCA

AUTOR: Jorge Montero García



TUTOR: Martín José González Orús Charro

Salamanca, Septiembre 2023

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	8
1 OBJETIVOS.....	9
2 METODOLOGÍA.....	9
II. PRESENTE Y FUTURO DE LOS CONTRATOS. LA INTERVENCIÓN DE LA TECNOLOGÍA EN LA EJECUCIÓN DE CONTRATOS	10
1 ESCENARIO ACTUAL DE LA CONTRATACIÓN PRIVADA.....	10
1.1. Posibilidad de padecer vulneraciones a razón de la acción humana	10
1.2. Exposición a un eventual incumplimiento.....	10
1.3. Ineficiencias a causa de su forma	11
1.4. Elevados costes y escalabilidad limitada.....	11
2 BLOCKCHAIN Y <i>SMART CONTRACTS</i>	12
2.1. La tecnología Blockchain: nociones básicas	13
2.1.1. Concepto de la cadena de bloques.....	13
2.1.2. Funcionamiento	14
2.1.3. Características.....	16
2.1.4. Tipos de Blockchains	17
III. <i>SMART CONTRACTS</i> O CONTRATOS INTELIGENTES: CONCEPTO, TRASCENDENCIA JURÍDICA Y CARACTERÍSTICAS	18
1 <i>SMART CONTRACTS</i> Y <i>SMART LEGAL CONTRACTS</i>	18
1.1. Concepto.....	18
1.2. Naturaleza contractual	19
1.2.1. Consentimiento	20
1.2.2. Objeto.....	21
1.2.3. Causa	21
1.3. Régimen jurídico	21
2 CONFIGURACIÓN DE UN <i>SMART CONTRACT</i>	22
2.1. Estructura de un <i>smart contract</i>	22
2.1.1. Ejemplo de <i>smart contract</i>	23
3 CICLO DE VIDA DE UN <i>SMART CONTRACT</i>	25

3.1.	Fase de código o programación.....	25
3.2.	Fase de despliegue y vigencia o publicación.....	26
3.3.	Fase de ejecución o de llamada (<i>call</i>).....	26
4	VENTAJAS DE LA CONTRATACIÓN INTELIGENTE.....	27
4.1.	Autoejecución.....	27
4.2.	Imposibilidad de incumplimiento.....	27
4.3.	Contratación entre extraños.....	28
4.4.	Seguridad e inmutabilidad.....	28
4.5.	Escalabilidad (Internet de las Cosas).....	29
	IV. DIFERENTES DIFICULTADES Y RETOS LEGALES ACTUALES QUE PRESENTAN LOS CONTRATOS INTELIGENTES	31
1	LIMITACIONES OPERATIVAS.....	31
1.1.	Excesiva rigidez inherente a los <i>smart contracts</i>	31
1.2.	Escalabilidad limitada.....	31
1.3.	Eventuales <i>hackeos</i> y <i>bugs</i> del código	32
2	DESAFÍO LEGALES.....	32
2.1.	Etapa de formación y perfección.....	32
2.1.1.	<i>Identificación y capacidad de obrar de las partes</i>	33
2.1.2.	<i>Comprensión del código y voluntad contractual</i>	33
2.1.3.	<i>Términos jurídicos indeterminados y objetivación de la realidad</i>	34
2.1.4.	<i>Eficacia</i>	34
2.1.5.	<i>Lugar de perfeccionamiento del contrato</i>	34
2.1.6.	<i>Ley aplicable y competencia judicial</i>	35
2.2.	Etapa de consumación	35
2.2.1.	<i>Doble consentimiento y vicios del mismo</i>	35
2.2.2.	<i>Coste</i>	36
2.2.3.	<i>Incumplimiento o cumplimiento defectuoso y responsabilidad contractual</i>	36
2.2.4.	<i>Propagación de efectos y “falsos terceros”</i>	37
2.3.	Etapa de autoejecución	37
2.3.1.	<i>Principio del valor probatorio</i>	37
2.3.2.	<i>Acciones judiciales</i>	38
2.3.3.	<i>Cumplimiento del Reglamento General de Protección de Datos (RGPD)</i>	38

V. POSIBLES FUTUROS ÁMBITOS DE APLICACIÓN DE LOS SMART CONTRACTS EN EL DERECHO MERCANTIL	39
1 INDUSTRIA CREATIVA	39
1.1. NFTs: un nuevo paradigma para la protección de la propiedad intelectual	40
1.2. Smart contracts, ¿la revolución de los <i>royalties</i> musicales?	40
2 SECTOR ASEGURADOR.....	41
2.1. Experiencia de cliente mejorada y reducción de los costes operativos	41
2.2. Fijación de la prima, valoración de riesgos y prevención del fraude	41
2.3. <i>Pay per use</i> (pago por uso) y microseguros	42
3 SECTOR FINANCIERO.....	42
3.1. Préstamos al consumo	42
3.2. Compensación y liquidación de créditos	42
3.3. Nuevas formas de financiación empresarial.....	43
4 DERECHO SOCIETARIO.....	43
4.1. La adopción de acuerdos sociales.....	43
4.1.1. <i>La tokenización como mecanismo de votación</i>	44
4.2. Sistema de tenencias de acciones	45
4.3. DAOs ¿hacia una sociedad virtual?.....	45
VI. CONCLUSIONES	47
VII. BIBLIOGRAFÍA	49
VIII. ANEXOS	60

ABREVIATURAS

ABI	Application Binary Interface. (Interfaz Binaria de Aplicaciones)
API	Application Programming Interface (Interfaz De Programación de Aplicaciones)
Art.	Artículo
B2C	Business To Consumers (Relación entre empresas y consumidores)
CC	Código Civil
CCo	Código de Comercio
CE	Comisión Europea
CGC	Condiciones Generales de Contratación
DAO	Decentralized Autonomous Organization (Organización Autónoma Descentralizada)
DApp	Decentralized Application (Aplicación Descentralizada)
DeFi	Decentralized Finance (Finanzas Descentralizadas)
DLT	Distributed Ledger Technology (Tecnología de Contabilidad Distribuida)
EDI	Electronic Data Interchange (Intercambio Electrónico de Datos)
EE.UU.	Estados Unidos
eIDAS	electronic IDentification, Authentication and trust Services (Identificación Electrónica, Autenticación y Servicios de Confianza)
ERC	Ethereum Request for Comments (Estándar técnico para la implementación de <i>tokens</i>)
ESMA	European Securities and Markets Authority (Autoridad Europea de Valores y Mercados)
etc	etcétera
ETH	Ether
EVM	Ethereum Virtual Machine
GPS	Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global)
IA	Inteligencia Artificial
IoT	Internet Of The Things (Internet de las Cosas)

IP	Internet Protocol (Protocolo de Internet)
ITO	Initial Token Offering (Oferta Inicial de Tokens)
KYC	Know Your Customer (Conoce a Tu Cliente; Regulación bancaria para identificar a los clientes y prevenir el lavado de dinero)
LOPD	Ley Orgánica de Protección de Datos
LSC	Ley de Sociedades de Capital
LSSI	Ley de Servicios de la Sociedad de la Información
NFT	Non-Fungible Token (Token No Fungible)
ODR	Online Dispute Resolution (Resolución de Disputas en Línea)
OPV	Oferta Pública de Venta
p. ej.	Por ejemplo
P2P	Peer-to-peer (Red entre Pares)
PoS	Proof of Stake (Prueba de Participación)
PoW	Proof of Work (Prueba de Trabajo)
RGPD	Reglamento General de Protección de Datos
TRLGDCU	Texto Refundido de la Ley General de Defensa de los Derechos de los Consumidores y Usuarios
UE	Unión Europea
UTC	Universal Time Coordinated (Tiempo Universal Coordinado)

I. INTRODUCCIÓN

Cada cierto tiempo aparece una tecnología que marca el desarrollo de la misma en los siguientes años o incluso décadas: el teléfono, el fax, o internet son solo algunas de ellas, pero sobre todo surgen “killer-apps”, aplicaciones que marcan un significativo impacto en la tecnología y en la forma en la que interactuamos con ella. Si tomamos internet como ejemplo, basta con ver como aplicaciones como el correo electrónico, los e-commerce, o las aplicaciones de mensajería instantánea han remplazado a servicios tradicionales y han influido en los posteriores desarrollos informáticos.

En 2008, con la publicación del *whitepaper* (documento técnico que incluye información como su propósito o hoja de ruta) de Bitcoin por parte de Satoshi Nakamoto, emergió una nueva tecnología denominada Blockchain o cadena de bloques. Esta tecnología, ofrece soluciones (algunas de ellas, con toda probabilidad, a día de hoy ni si quiera estén concebidas) a diversos problemas de diferentes sectores entre ellos, claro está, el Derecho. Aun así, faltaba una “killer-app”. Una aplicación decisiva a la hora de lograr una adopción generalizada y en 2015 con la creación de Ethereum, llegaron los *smart contracts*, o contratos inteligentes, lo que para muchos constituye la “killer-app” de Blockchain.

El Derecho y la Informática parecen inexcusablemente “condenados” a entenderse. La contratación electrónica ha estado presente en todo momento en el profundo desarrollo que ha experimentado la tecnología en las últimas décadas. A la contratación por teléfono y fax, le siguió la contratación por correo electrónico y a ésta la contratación en webs o comercios electrónicos. Los terceros han resultado imprescindibles en este tipo de contratación, bien creando las plataformas en las que se producen los acuerdos contractuales (Amazon, Booking, PayPal...) o bien, como intermediarios en la conocida como economía colaboradora (*p. ej.* Wallapop, Uber...). Los *smart contracts*, dadas las ventajas que presentan inherentes a su naturaleza como su ejecución automática o inmutabilidad, resulta inevitable que constituyan el siguiente paso de la contratación electrónica.

Por tanto, nos corresponde como juristas hacer un cambio de mentalidad jurídica y realizar un esfuerzo para conocer este tipo de nuevas tecnologías llamadas a cambiar la forma de la contratación a distancia.

1 OBJETIVOS

El propósito central de este trabajo es abordar los contratos inteligentes o *smart contracts*, su funcionamiento y su naturaleza contractual, así como sus ventajas y limitaciones. Para ello, será necesario realizar un análisis acerca de las implicaciones jurídicas que en el estado de la técnica conllevarían su eventual adopción.

El principal fin que busca este trabajo es que una persona que no sea experta en la materia, pero que muestra un cierto interés o curiosidad en la misma pueda, a pesar de su dificultad, llegar a comprender esta tecnología y sus posibles aplicaciones al Derecho Mercantil. Por ello, se recurre a explicar las nociones básicas de Blockchain de manera accesible y concisa, así como a exponer una serie de casos prácticos de aplicación en la contratación privada.

2 METODOLOGÍA

Con el ánimo de ofrecer en todo momento información útil, veraz y de notoria calidad, se ha recurrido a una revisión bibliográfica procedente de diferentes fuentes cuyo contenido ha versado principalmente sobre Blockchain, *smart contracts* y su transcendencia jurídica. Para tal cometido, se ha acudido a bases de datos y buscadores académicos como *Dialnet* o *Google Scholar* respectivamente, así como a los repertorios físicos y digitales disponibles de la Universidad de Salamanca. Del mismo modo, a lo largo del trabajo se ha acudido a diferentes libros físicos, artículos doctrinales y *papers* de reconocidos investigadores de la materia. Aunque la gran parte de la información consultada procede del habla inglesa, cobra importancia mencionar como en los últimos años han aflorado numerosas obras e investigaciones sobre la misma en nuestra lengua natal.

En lo relativo a la estructuración del trabajo se ha tratado de seguir una línea argumental que se inicia con la realidad presente de la contratación privada y las ineficacias que presenta, para posteriormente dar paso a los *smart contracts*. Un recorrido en el que se profundiza en la tecnología Blockchain sobre la que se sustenta, para a continuación dar paso al estudio de sus características y ventajas y en contrapartida los desafíos operativos y legales que presenta. En última instancia y para concluir este estudio, se describen una serie de casos prácticos en los que esta tecnología podría encontrar cabida en los próximos años.

II. PRESENTE Y FUTURO DE LOS CONTRATOS. LA INTERVENCIÓN DE LA TECNOLOGÍA EN LA EJECUCIÓN DE CONTRATOS

1 ESCENARIO ACTUAL DE LA CONTRATACIÓN PRIVADA

El contrato es la fuente principal de creación de obligaciones en nuestro país, a través del consentimiento bilateral de acuerdo con el artículo 1254 del Código Civil (Carrasco Perera, 2021, p.63). La contratación privada ha ido evolucionando desde que el derecho romano estableciera la *stipulatio*¹ hasta el día de hoy. Sin embargo, en la actualidad los contratos convencionales no son perfectos y aún padecen diferentes limitaciones que estudiaremos a continuación. Estas insuficiencias han quedado de manifiesto con la aparición de nuevas formas de contratación a distancia, como las contrataciones vía electrónica, pero es sobre todo en materia de consumidores y usuarios donde se advierten en mayor medida, dado su carácter de “contratación en masa” a gran escala (Corrales Compagnucci et al., 2021, p.73):

1.1. Posibilidad de padecer vulneraciones a razón de la acción humana

En el transcurso de la fase de perfección de los contratos convencionales las partes implicadas en el mismo podrían realizar una redacción del contenido vaga, ambigua o imprecisa, bien por error o por omisión, que podrían generar significativas consecuencias en los resultados de su aplicación (Grossman et al., 1986, p.698).

1.2. Exposición a un eventual incumplimiento

Una vez que el contrato ha sido perfeccionado, son varios los escenarios que se dibujan para la parte acreedora y que puede esperar con respecto a la parte deudora en sede de ejecución del contrato (O’Callaghan Muñoz, 2012):

- i. Cumplimiento íntegro: la parte deudora se libera de la obligación contraída satisfaciendo el interés del acreedor conforme a las condiciones y plazos pactados.
- ii. Cumplimiento defectuoso: el deudor lleva a cabo la prestación a la que se encontraba obligado, pero el resultado no se ajusta a lo establecido previamente.

¹ La *stipulatio* (estipulación) es una forma de contratación verbal romana, unilateral y abstracta, en la que una de las partes preguntaba a la otra por su disponibilidad a comprometerse sobre una cosa cierta y determinada y en la que en el caso de que ésta respondiera afirmativamente quedaba obligada (Bravo, 2009).

- iii. Cumplimiento extemporáneo o tardío: se produce un retraso en el cumplimiento de la obligación respecto a lo fijado en el contrato, sin llegar a incurrir en mora².
- iv. Incumplimiento total: la prestación no se realiza, bien por desinterés del deudor, por imposibilidad sobrevenida o por un cumplimiento defectuoso insubsanable (Díez-Picazo, 2008, p.571).

1.3. Ineficiencias a causa de su forma

El principio espiritualista de forma que se establece en el art. 1278 CC, permite que cualquier contrato pueda ser válido con independencia de la forma en la que se haya celebrado, siempre y cuando en él se cumplan las condiciones esenciales para su validez³.

Sin embargo, esta libertad deja abierta la puerta a posibles alteraciones del contrato, ya sea en forma de modificaciones del contenido o deterioro o extravío del mismo (Bellamy et al., 2016). Son numerosas las ocasiones en las que los contratos se encuentran expuestos a estas contingencias al ser custodiados por una única parte que deposita el documento que lo contiene en un lugar físico o digital centralizado.

1.4. Elevados costes y escalabilidad limitada

Por regla general, confeccionar un contrato actualmente conlleva diferentes gastos principalmente como resultado de los diferentes agentes que interviene en el proceso, los cuales variarán en función del tipo de contrato y de los trámites requeridos⁴. Y no nos referimos únicamente a costes económicos, ya que la concurrencia de intermediarios repercute a su vez en una ralentización del proceso (Vilalta, 2019, p.48).

Estas circunstancias dificultan enormemente la escalabilidad que muchos contratos requieren a día de hoy fruto de las nuevas tecnologías. La interconexión entre sí y con Internet de objetos, dispositivos y sistemas mediante la integración del IoT (Internet de las cosas, del inglés *Internet of Things*) ha abierto un nuevo paradigma en el ámbito de la

² Para ello sería necesario que concurrieran los presupuestos previstos en el artículo 1100 del CC.

³ En la actualidad el principio espiritualista de la contratación tiene un valor puramente residual, puesto que cada vez es mayor el número de contratos que por imposición legal se precisan por escrito, especialmente en materia mercantil (ILLESCAS ORTIZ, 2010).

⁴ Determinados contratos pueden verse sujetos a costes adicionales como elevar el documento a público o tasas de tramitación o registro.

contratación en masa para el que los contratos convencionales se advierten insuficientes (Reyna et al., 2018, p. 185).

2 BLOCKCHAIN Y *SMART CONTRACTS*

En 1996 el ingeniero informático y jurista norteamericano Nick Szabo introdujo en un brillante y premonitorio trabajo un nuevo concepto de contrato al que acuñó como *smart contract* y que definió como “un protocolo de transacción computarizado para ejecutar los términos de un contrato” (Szabo, 1996). La idea subyacente a este concepto con el que pretendía hacer frente a las limitaciones de los contratos tradicionales es que diferentes cláusulas contractuales pudiesen ser traducidas a lenguajes informáticos con el propósito de poder ser ejecutadas de manera autónoma en respuesta a contingencias particulares especificadas previamente (Arruñada, 2020, p.253). Szabo ponía como ejemplo de *smart contract* las máquinas de *vending*⁵ en las que mediante la introducción del importe correspondiente y la selección del bien deseado por parte del del consumidor, se desencadena la entrega y puesta a disposición del mismo, sin intervención humana por parte del vendedor y concluyéndose así el contrato de compraventa. Análogamente, el hecho de que sea la máquina quien dispone del bien objeto desincentiva el incumplimiento contractual (Legerén-Molina, 2018, p.197).

La idea de los contratos inteligentes o *smart contracts*, cuyo concepto estudiaremos con mayor detalle a lo largo de este trabajo, a día de hoy se encuentra inmensamente ligado con la tecnología de registro distribuido, más comúnmente conocida como Blockchain. Sin embargo, esta vinculación no es estrictamente indispensable puesto que la idea de este fenómeno es previa a la aparición del Bitcoin⁶ (Castillo, 2022). Anteriormente, se había tratado de implementar los *smart contracts* por medio de otras tecnologías como la EDI (*Electronic Data Interchange*), no obstante, estos sistemas resultaban incapaces de ejecutarlos en la práctica (García Mexía, 2018).

⁵ En España este tipo específico de compraventa se encuentra regulada en los artículos 49 y siguientes de la Ley 7/1996, de 15 de enero, de Ordenación del Comercio Minorista.

⁶ Bitcoin se convirtió en el año 2008 en la primera red de registro distribuido, sentando las bases de la tecnología Blockchain. Fue Satoshi Nakamoto (su identidad sigue siendo un misterio por el momento y se piensa que detrás de este seudónimo operan un grupo de personas) quien introdujo este tipo de tecnología mediante la publicación de su *whitepaper* (documento guía). Vid. (Nakamoto, 2008) *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*.

2.1. La tecnología Blockchain: nociones básicas

En el año 2015, aparece en escena el proyecto Ethereum⁷. Ideado por Vitalik Buterin, esta plataforma basada en tecnología de registros distribuidos o DLT (por sus siglas en inglés, *Distributed Ledger Technology*) supondría un punto de inflexión para los *smart contracts* ya que se concebiría con el objetivo de poder proporcionar la tecnología necesaria, e ilusoria hasta entonces, para poder llevar a la práctica la idea de contratos inteligentes que Nick Szabo había concebido años antes (Tur Faúndez, 2018, p.53).

Como consecuencia de esta circunstancia y con el ánimo perseguido de facilitar la comprensión del análisis jurídico de los *smart contracts* que se abordará más adelante con mayor profundidad, resulta imprescindible hacer una breve introducción acerca de la tecnología Blockchain sobre la que se desarrollan.

2.1.1. Concepto de la cadena de bloques

Frente a las bases de datos convencionales y centralizadas en un único servidor que se han venido utilizando durante décadas, con Bitcoin surge una nueva forma de preservar los datos sin la necesidad de tener que confiar en un administrador central (Meunier, 2016). Satoshi Nakamoto, con el deseo de concebir una moneda confiable cuyo valor atendiera únicamente a razones de oferta y demanda (Nakamoto, 2008), ideó una tecnología en la que apoyándose en tecnología P2P⁸ (*peer to peer*, o entre pares) permitía que los ordenadores participantes de la de la red⁹ pudieran llegar a ponerse de acuerdo acerca de los datos compartidos (Van Valkenburgh, 2017). Por consiguiente, los datos se recopilan, preservan y procesan de manera descentralizada (Adsuara Varela, 2020, p.813). Esta forma de distribución de los datos es lo que conocemos como tecnología de registro distribuido, DLT.

Las DLT se constituyen en torno a un *ledger* (registro) que recoge todas las transacciones de datos vinculadas a las distintas direcciones que han sido confirmadas por los nodos. Sin embargo, no existe un único *ledger*, dado que cada nodo de la red dispone de su propia

⁷ Vid. (Buterin, 2014) *Ethereum whitepaper*.

⁸ Este tipo de redes adquirieron gran notoriedad durante la primera época del siglo XXI gracias a servicios como *Emule* o *Napster* estrechamente relacionados con la violación de derechos de autor (Orozco González, 2012).

⁹ Estos ordenadores habitualmente reciben el nombre de *peers* o *nodes* (pares o nodos).

copia de las anotaciones registradas que le permite rechazar cualquier inconsistencia que dispongan los datos (Delgado de Molina Rius, 2020, p.39).

En numerosas ocasiones el término DLT se usa indistintamente con Blockchain (*ad litteram*, cadena de bloques). No obstante, para evitar posibles confusiones debemos precisar que este último término se refiere a una estructura concreta que adopta una red DLT (Valpuesta Gastaminza, 2022). En ella, los datos del *ledger* se organizan y almacenan automáticamente siguiendo una estructura de bloques interrelacionados entre sí por códigos alfanuméricos que se llaman *hashes*¹⁰ (Ibáñez Jiménez, 2018).

2.1.2. Funcionamiento

Cada transacción se incorpora en un bloque de información, el cual contendrá:

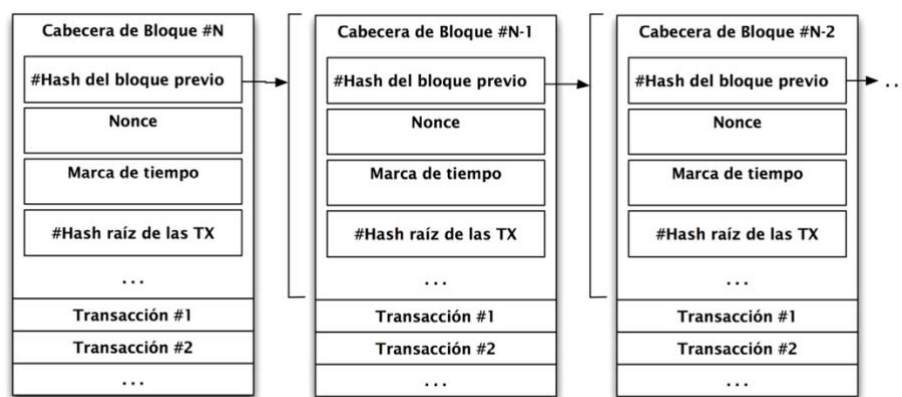
- Un sello de tiempo o *timestmap*¹¹ que registra la fecha, hora, minutos y segundos en la que se ha originado el bloque de cada una de las transacciones (Tur Faúndez, 2018).
- El *hash* originado por el conjunto de datos que se almacenan en el bloque, así como el *hash* del bloque anterior. Esta característica es la que confiere a los datos almacenados una estructura de cadena e impide que un bloque pueda ser alterado ya que cualquier mínima variación del *input* (datos) implicaría cambios en el *hash* impredecibles, desalineando la cadena de bloques y generando que los nodos rechacen el bloque defectuoso (Delgado de Molina Rius, 2020, p.40).
- Las transacciones que caracterizan el bloque, que consisten en mensajes de datos encriptados que otros miembros de la plataforma podrán consultar, siempre que cuenten con los permisos necesarios. Cuando estos datos por sí mismos constituyen un cuerpo congruente de información con autonomía jurídica propia suelen ser designados como *tokens* (Ibáñez Jiménez, 2018, p.25).

¹⁰ El *hash value* o huella digital, es un código de caracteres finito que se produce a modo de resumen a partir de los datos contenidos mediante criptografía. Su utilidad es proporcionar a seguridad a la red ya que, al ser inalterable, permite evitar alteraciones o modificaciones en los datos. *Vid.* Anexo I. *Vid.* (Bit2Me Academy, 2023) *¿Qué es un hash?*.

¹¹ Como si de un sello se tratase, el *timestamp* consiste en una secuencia de caracteres que determinan la existencia del bloque en un momento determinado. Esta marca de tiempo permite coordinar todos los nodos que se encuentran conectados a la red utilizando como referencia la UTC-0. La implementación en los bloques del *timestamp* garantiza la autenticidad de la información, permite ajustar la dificultad del minado en función del intervalo de tiempo que transcurre entre bloques y evitan el conocido problema del “doble gasto” (utilizar la misma moneda más de una vez) (Fornell, 2019); (Maldonado, 2019).

El protocolo de consenso de la red será quien establezca el procedimiento posterior necesario para validar el bloque y permitir su anexión a la cadena de bloques¹². Hasta ahora, el método más adoptado entre las diversas redes Blockchain ha sido el consenso de Prueba de Trabajo (PoW). Este protocolo permite establecer un incentivo económico a los nodos participantes (a los que se les denomina comúnmente como “mineros”) para que validen y generen los bloques (Seang et al., 2018). Para poder alzarse con esta recompensa los nodos compiten para resolver un problema matemático-algorítmico que surge a partir de la incorporación en el bloque de un nuevo elemento, el *nonce* (contracción de *number used once*) o número oculto. Este número correlativo de cada “minero” es el único componente del bloque que puede ser alterado y el cuál tendrá que ir variando hasta conseguir un *hash* que junto con el resto de elementos del bloque le proporcione un *hash* válido¹³, que comience por 4 ceros¹⁴ y sea confirmado por el resto de nodos (Valpuesta Gastaminza, 2022).

Figura 2.1. Estructura de la cadena de bloques en PoW (Vilarroig Moya et al., 2018, p. 48).



A pesar de los grandes beneficios en materia de seguridad que este protocolo de consenso ofrecía en un primer momento, la alta competencia en el proceso de “minado” ha generado que cada vez sea necesario un mayor poder computacional para poder resolver este reto y, en consecuencia, que se centralice la actividad de minado contradiciendo la

¹² Toda Blockchain cuenta con un bloque inicial denominado génesis, a partir del cual se irán encadenando el resto de bloques (Jiménez Linares, 2020).

¹³ Cada nodo parte de un *hash* diferente como consecuencia de las operaciones que haya alojado en su bloque. Por tanto, no todos los mineros están igual de próximos a hallar el *nonce* confiriendo al sistema una apariencia de “sorteo” en el que no siempre el sujeto con mayor poder computacional será el primero en resolver el problema matemático. (Valpuesta Gastaminza, 2022, p.40)

¹⁴ Con el objetivo de mantener el intervalo de creación de bloques establecido por la red, este número de ceros va alterándose cada cierto tiempo en función de la capacidad total de computación de la red (*hash rate*) para modificar la dificultad de obtener el *nonce*. (Delgado de Molina Rius, 2020).

idea original del sistema¹⁵. A consecuencia de este hecho y de otros factores como el alto gasto energético que supone el PoW, se han ido desarrollado nuevos métodos de consenso. Uno de los que más notoriedad ha adquirido es el llamado PoS (*Proof of Stake*). A diferencia de PoW, en PoS la validación del bloque es aleatoria mediante un algoritmo matemático que tiene en cuenta los depósitos de monedas virtuales de los nodos en la red. De esta manera ofrece una mayor probabilidad a aquellos que tienen un mayor interés en funcionamiento de la red¹⁶ (Vilalta, 2019, p.32).

Finalmente, una vez que el bloque ha sido validado y replicado en multitud de los *ledgers contenidos* en los diferentes nodos de la red, cualquiera de éstos puede dar fe de que el contenido que se refleja en la cadena de bloques se mantendrá inmutable¹⁷.

2.1.3. Características

Este tipo de tecnología se presenta como una innovación disruptiva, principalmente por las propiedades que presenta (Tur Faúndez, 2018, p.34)¹⁸:

- a. *Consenso*: Única y exclusivamente se considerará como válida la información contenida en un bloque cuando todos los participantes de la red estén de acuerdo.
- b. *Origen*: Cualquier nodo de la red puede comprobar el momento preciso en el que un determinado activo se incorporó a la cadena de bloques, así como, su primer titular y todos los posteriores cambios de titularidad hasta el momento en el que se efectúa la consulta.
- c. *Inmutabilidad*: Una vez que el bloque ha sido validado y se ha incorporado a la Blockchain, ningún participante de la red podrá modificarlo.

¹⁵ Para poder atacar el sistema, sería necesario contar con un 51% del poder computacional. El protocolo PoW se basa en la competencia de los mineros, si la actividad de minado se focaliza en unas pocas unidades o *pools* de minado, la descentralización de la plataforma queda comprometida (Martínez Sierra et al., 2022, p.41).

¹⁶ La red Ethereum completó finalmente su paso de PoW a PoS, conocido como “*the merge*” el 15 de septiembre de 2022. Vid. (Coinbase, 2022) *La Fusión de Ethereum (ETH) por fin ha llegado. ¿Qué es lo siguiente?*.

¹⁷ Para el supuesto de que se incorpore un “derecho”, se produce una circunstancia similar al “tracto sucesivo” del derecho registral, puesto que a partir de ese momento cualquier cambio que se haga en la titularidad del derecho inmatriculado en un bloque posterior la cadena deberá ser reconocido por el anterior.

¹⁸ La doctora y profesora Vilalta incorpora también como características de esta tecnología: certeza, seguridad e irrefutabilidad (Vilalta, 2019, p.21).

2.1.4. Tipos de Blockchains

Existen diferentes criterios en base a los que categorizar las redes DLT¹⁹. Atendiendo a todos ellos podemos distinguir tres categorías de Blockchain:

- a. *Públicas*: Son redes abiertas, descentralizadas y pseudoanónimas. Cualquier usuario puede acceder, participar realizando transacciones y configurar su propio nodo para validar transacciones sin requerir un permiso previo. Son ejemplos de esta Blockchain Bitcoin o Ethereum (Preukschat, 2017, p.26).
- b. *Privadas*: A partir de las Blockchains públicas más importantes (en especial Ethereum) es posible originar cadenas totalmente privadas en las que organizaciones independientes puedan limitar mediante diferentes niveles el acceso a la red y las consultas de las transacciones realizadas. Es importante destacar que las cadenas de bloques privadas, en lugar de descentralizadas, serán distribuidas al limitar los participantes que pueden configurar un nodo. Entre las plataformas de este tipo debemos destacar entre otras Monax e Hyperledger (Jiménez Linares, 2020, p.331).
- c. *De consorcio o híbridas*: Se encuentran a medio camino entre las públicas y las privadas. De forma general, el acceso a operar en ellas se reserva para miembros de un determinado colectivo (*p. ej.* entidades financieras) y la validación de los bloques se restringe a un determinado grupo de miembros limitado²⁰ (Stazi, 2019, p.103).

Tan solo una vez que disponemos de un acercamiento inicial al concepto y marco operativo de Blockchain como tecnología en la que se desarrolla los *smart contracts* desde un punto de vista técnico podremos abordar en los siguientes capítulos de este trabajo el estudio de esta nueva figura desde un ámbito jurídico, llegar a comprender la trascendencia de sus posibles aplicaciones y fundar nuestro propio juicio acerca de si es factible su aplicación en el Derecho Privado.

¹⁹ Podemos clasificarlas en base si un participante puede (i) acceder a la red para poder llevar a cabo transacciones; (ii) crear anotaciones en los *ledger* (validar bloques); y (iii) leer las anotaciones realizadas (Delgado de Molina Rius, 2020, p.44).

²⁰ Debemos hacer especial mención a la plataforma Corda entre otros proyectos desarrollados bajo esta estructura. Lanzada en 2016 por la empresa tecnológica R3, originalmente para dar solución a las ineficiencias en las transacciones del sector bancario, cuenta con la participación de importantes instituciones entre las que encontramos el banco español BBVA. *Vid.* (R3,2023) *Leader in the Digitization of Financial Services*.

III. *SMART CONTRACTS* O CONTRATOS INTELIGENTES: CONCEPTO, TRASCENDENCIA JURÍDICA Y CARACTERÍSTICAS

1 *SMART CONTRACTS* Y *SMART LEGAL CONTRACTS*

Hasta la fecha, la inmensa complejidad que subyace a los *smart contracts*, su permanente evolución y la posibilidad de abordar su estudio, tanto desde un prisma técnico como jurídico, ha dificultado en gran medida la posibilidad de alcanzar una definición uniforme de “contrato inteligente” (Navarro Lérica, 2018a). Si bien nuestra legislación, por el momento, no cuenta con un concepto legal del mismo, en algunas jurisdicciones europeas ya se han promulgado normativas específicas²¹.

1.1. Concepto

En virtud de la extendida confusión que se ha generado en torno al concepto de *smart contract*, han sido varios los autores que han comenzado a hacer una distinción entre *smart contracts* y *smart legal contract*^{22 23}. Esta dicotomía surge con el ánimo de separar la perspectiva empleada para definirlos:

- La perspectiva informática, que reconoce a los *smart contracts* como simples secuencias de código programadas para el cumplimiento autónomo de determinadas transacciones, por ejemplo, un despertador programado para que todos los días suene a la misma hora (Castillo, 2022, p.188). Esta definición ha sido criticada porque jurídicamente no implica la celebración *per se* de un contrato y tampoco, por el momento, se pueden considerar como “inteligentes”, habida cuenta de que únicamente se limitan a ejecutar las instrucciones programadas sin ningún tipo de IA (inteligencia artificial)²⁴ (Comelles, 2020, p.11).

²¹ El mayor ejemplo lo encontramos en la legislación italiana donde se definen los *smart contracts* como: “programas informáticos que operan bajo la tecnología de registro distribuido y cuya ejecución vincula automáticamente a dos o más partes en relación con los efectos predefinidos” (Serra Rodríguez, 2021).

²² El primero en que realizó esta distinción y propuso el concepto de *smart legal contract* fue el abogado canadiense Josh Stark (Stark, 2016).

²³ Otros autores también distinguen entre *smart code contracts* y *smart legal contracts* para diferenciar entre aquellas secuencias de código que se alojan y ejecutan en una cadena de bloques y las que no, respectivamente (Legerén-Molina, 2018, p.196). La profesora Jiménez Linares, por ende, entiende que el término adecuado sería el de *Blockchain contracts* (Contratos de Blockchain). (Jiménez Linares, 2020, p.338)

²⁴ Sin embargo, Comelles considera que esta crítica no está justificada ya que la IA interviene en la configuración de las plataformas Blockchain.

- Frente a esta, la perspectiva jurídica utiliza el término *smart legal contracts*²⁵ para referirse a auténticos contratos *stricto sensu* autoejecutables. Bajo esta denominación se distinguen varios supuestos (Feliu Rey, 2018, p.8):
 - El contrato inteligente refleja de forma íntegra un contrato concertado y elaborado en otro soporte para su posterior ejecución²⁶.
 - El contrato inteligente se ha elaborado y redactado directamente en esta forma.
 - O bien, que únicamente recoja algunas de las obligaciones decretadas en un contrato confeccionado en otro modo.

Queda patente que el *software eo ipso* no puede ostentar gozar de la condición de contrato, por lo que se desprende que los primeros desarrolladores con la intención de rendir homenaje a Nick Szabo acordaron emplear el término *smart contract* para aludir a cualquier código que fuera capaz de ejecutar, sin intervención humana, alguna prestación de un auténtico contrato (Tur Faúndez, 2018, p.55).

1.2. Naturaleza contractual

La “*Lex ex machina*” o “Derecho desde la máquina” es la expresión de lo que en un principio entrañan los *smart contracts*, entendiendo que en ellos el Derecho desaparece bajo la premisa de “*Code is Law*”. Sin embargo, los contratos inteligentes no pueden prescindir del Derecho en ninguna de sus fases como contrato: formación, ejecución y consumación. Ahora bien, como punto de partida debemos hacernos la siguiente pregunta: ¿Son los *smart contracts* realmente un contrato?

Nuestro Código Civil no precisa una definición de contrato, pese a ello, las alusiones que se producen en las disposiciones correspondientes (arts. 1089, 1091 y 1254 del CC) han

²⁵ A pesar de la redundancia del término contrato legal inteligente (*smart legal contract*) la doctrina se muestra partidaria de emplear el pleonasma, producido al añadir el calificativo *-legal-* que se encuentra implícitamente contenido en el sustantivo *-contrato-*, pues solo de esta manera se puede distinguir entre el *smart contract* como simple programa informático del verdadero contrato autoejecutable (Tur Faúndez, 2018). Será a este tipo de contrato al que nos refiramos a lo largo de este trabajo y al que por cuestiones de economía lingüística desde ahora denominaremos únicamente *smart contracts (contratos inteligentes)*.

²⁶ El proceso de traslación a código informático de la prosa jurídica se conoce como “*contractware*” (Jiménez Linares, 2020, p.337).

permitido a la doctrina elaborar una acepción clásica o tradicional del mismo (Feliu Rey, 2018)²⁷.

Bajo una perspectiva de la forma, el hecho de que los contratos inteligentes se plasmen total o parcialmente en código no supone una limitación para que puedan ser reconocidos como contratos, considerando que el art. 1278 del texto legal citado establece la libertad de forma con la salvedad de las excepciones previstas en el art. 1280 del mismo (Fetsyak, 2020, p.211).

Sin perjuicio de ello, todo contrato debe cumplir con los requisitos establecidos por el art. 1261 CC para ser reconocido como tal. Los *smart contracts*, en definitiva, no son más que una variante de los contratos electrónicos y por tanto deberán atender a lo que se establezca en su regulación específica. En España se trata de la Ley 34/2002, de 11 de julio, de Servicios de la Sociedad de la Información y del Comercio Electrónico (LSSICE) y en este caso, en su art. 23.1 hace una remisión al art. 1261 del Código Civil, indicado que para poder disponer de validez deberán concurrir los siguientes requisitos esenciales:

1.2.1. Consentimiento

De conformidad con lo establecido en el art. 1261 CC, se entiende por consentimiento la exteriorización de la voluntad manifiesta de ambas partes contratantes. A tenor del carácter automático de los *smart contracts*, les será de aplicación el párrafo tercero de dicho artículo: “En los contratos celebrados mediante dispositivos automáticos hay consentimiento desde que se manifiesta la aceptación”.

El consentimiento podrá concurrir de manera *offline*, tanto de manera presencial como a distancia, dado que cabe el supuesto en el que la negociación y formalización del acuerdo se lleve a cabo de manera física y, posteriormente, se programe alguna de las disposiciones en un *smart contract* para que se ejecute de manera automática. De igual forma, podrá tener lugar vía electrónica resultando de aplicación la normativa al efecto (art. 162 CC, art.54 CCo y art.23 LSSI) (Tourinho et al., 2022, p.61).

Es preciso aclarar que en este contrato el consentimiento no solo debe recaer en torno al negocio jurídico pertinente, sino también sobre la tecnología Blockchain. Las partes

²⁷ “Acuerdo de voluntades de dos o más personas dirigido a crear obligaciones entre ellas” (Feliu Rey, 2018, p.7)

deben manifestar su conformidad con las consecuencias de utilizar este tipo de plataformas como soporte del acuerdo (Jiménez Linares, 2020, p.339).

1.2.2. Objeto

A mayores de los requisitos generales que se establecen en los arts. 1271, 1272 y 1273 CC sobre el objeto del contrato (cierto²⁸, determinado, posible y susceptible de determinación) debemos añadir que pueda ser susceptible de implementación en un *smart contract*, es decir, que las obligaciones y condiciones puedan objetivarse (Fetsyak, 2020).

El objeto se representará mediante activos digitales como Bitcoin, Ether (ETH, moneda digital de la red Ethereum) u otro tipo de criptomonedas. Análogamente, contarán con especial relevancia aquellos objetos del mundo físico que puedan ser vinculados mediante IoT. (Ortega Giménez, 2018)

1.2.3. Causa

La causa constituye la razón por la que las partes llevarán a cabo el contrato. En los *smart contracts* no supone especial conflicto o distinción respecto a un contrato convencional. Se presumirá que existe y que es lícita (art. 1277 CC) y que la ejecución automática forma parte de la misma (Fetsyak, 2020).

1.3. Régimen jurídico

Considerando los diversos aspectos de esta forma de contrato, son numerosas las materias jurídicas que intervienen en adición a los elementos típicos del contrato concerniente. Ante la inexistencia de una regulación nacional o europea²⁹ común de los *smart contracts*, debemos tener en cuenta las disposiciones sobre obligaciones y contratos contenidas en el Código Civil y en el Código de Comercio, la normativa de contratación electrónica (LSSICE), sobre consumo atendiendo al Real Decreto Legislativo 1/2007, de 16 de noviembre (en adelante, TRLGDCU) y la reciente Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales (LOPD) (Solanas, 2019, p.19).

²⁸ En lenguaje informático, al contrario que en el lenguaje natural, no cabe ningún tipo de ambigüedad (Aparicio Bijuesca, 2018).

²⁹ Recientemente el Parlamento Europeo un Proyecto de Ley de Datos (*Data Act*) que contempla una definición contrato inteligente e incluye obligaciones directas para los mismo (ATH21, 2023).

A su vez, si atendemos al alcance extraterritorial del comercio y la contratación electrónica cobran especial relevancia las disposiciones del Reglamento (CE) n.º 593/2008, del Parlamento y del Consejo, de 17 de junio de 2008, sobre la ley aplicable a las obligaciones contractuales (Roma I).

2 CONFIGURACIÓN DE UN *SMART CONTRACT*

Los *smart contracts*, a consecuencia de su redacción en código informático, se construyen conforme a la lógica *booleana*³⁰, siguiendo un esquema “*if.../then...*”, es decir, si ocurre una condición o evento “X” se producirá la consecuencia programada “Y”. Esta estructura condicional se completa con la configuración “*if.../then.../else...*” añadiendo un efecto distinto “Z” para el caso de que esa condición o evento “X” no se desencadene. Un ejemplo simplificado con el que poder apreciar el potencial de esta tecnología podría ser el supuesto en el que un vuelo sufre un retraso en su salida y se compensa a los pasajeros automáticamente con una indemnización.

Esta naturaleza condicional de los contratos inteligentes, al ser desplegado en una Blockchain, garantiza su cumplimiento al constituirse como inalterables, irreversibles e incorruptibles (Castillo, 2022, p.190).

2.1. Estructura de un *smart contract*

En la actualidad, aunque existen numerosas iniciativas, Ethereum representa la plataforma pública de Blockchain más utilizada para desarrollar y ejecutar *smart contracts*. La gran mayoría se redactan en Solidity³¹, que es el lenguaje de programación más extendido para la creación de contratos inteligentes y que guarda importantes similitudes sintácticas con JavaScript o C++. Dentro de Ethereum, el entorno donde tiene lugar la ejecución de los *smart contracts* es la Ethereum Virtual Machine (EVM)^{32 33} y las transacciones económicas que impliquen se llevarán a cabo en Ether, su criptomoneda nativa.

³⁰ Jurídicamente podríamos equipar dicha lógica a las obligaciones condicionales. *Vid.* Arts. 1113 a 1123 del Código Civil.

³¹ *Vid.* (Ishaili, 2022) *Introduction to Solidity*. *Vid.* Anexo II.

³² La EVM podría asemejarse a un sistema operativo y se encuentra completamente aislada, lo que implica que el código que se ejecuta en su interior no tiene acceso a la red, convirtiéndola en un espacio idóneo para experimentar y realizar pruebas. *Vid.* Anexo III.

³³ Los contratos residen en una cadena de bloques con un formato binario específico de Ethereum (EVM Bytecode) (Tur Faúndez, 2018, p.41). Típicamente, los contratos se redactan en Solidity y posteriormente se traduce al lenguaje de máquina Bytecode mediante el compilador *Solc* (Legerén-Molina, 2020, p.290).

Como veremos a continuación, cuando el contrato inteligente dependa de algún tipo de información externa (*p. ej.* precio de las acciones, fecha u hora, etc.) se enfrentará a un desafío adicional, puesto que para los nodos sería imposible llegar a un consenso de manera determinística al ser estas variables dependientes del tiempo y al no producirse la consulta de manera simultánea. Para solucionar este problema, el *smart contract* recurrirá a un oráculo (un tercero vinculado al sistema Blockchain)³⁴ para que mediante una transacción le proporcione la información necesaria y que puede resultar en la ejecución del contrato (Delgado De Molina Rius et al., 2020, p.425).

2.1.1. Ejemplo de smart contract

Con el fin de exponer con mayor ilustración como se configuran los diferentes términos de un *smart contract* y sus posibles aplicaciones, a continuación, presentaremos un ejemplo real simplificado, de elaboración propia, inspirado por la forma en la que los investigadores Lauslahti, Mattila y Seppala exponen varios ejemplos de aplicación en su trabajo: “*How will Blockchain Technology Affect Contractual Practices?*” (Lauslahti et al., 2017, p.18)³⁵.

Este ejemplo trata de ampliar y desarrollar el anteriormente planteado en el que: *Presumimos un escenario en el que los pasajeros de un vuelo con la compraventa de su billete, de manera automática suscriben un smart contract con la respectiva aerolínea en el que si se llega a producir un retraso de más de 1 hora en el vuelo serán compensado automáticamente con una indemnización que alcanza el 50% del coste del vuelo.*

Información del contrato:

VUELO = US 2023

FECHA = 11-09-2023

AEROLÍNEA = USAL

PASAJERO = JORGE MONTERO

COSTE_VUELO = 100 [EUR]

TIEMPO_RETRASO = 60 [MIN]

URL_AEROPUERTO = www.aeropuerto.com

³⁴ En un *smart contract* pueden llegar a concurrir varios oráculos al mismo tiempo. Se pueden distinguir varios tipos: (i) Entrantes: añaden información desde una fuente externa; (ii) Salientes: envían información fuera del sistema; (iii) Internos: verifican datos procedentes del sistema (iv) Externos: acreditan datos del exterior de la plataforma (Tourinho et al., 2022).

³⁵ En él, los autores utilizan un pseudocódigo en inglés que trata de imitar el lenguaje de programación real y reproduce la lógica que implementan los contratos inteligentes.

Términos del contrato:

```
IF FECHA ACTUAL = FECHA THEN

IF HORA_REAL_SALIDA del VUELO (obtenido del oráculo de
URL_AEROPUERTO) > HORA_SALIDA + TIEMPO_RETRASO, THEN
// Calculo del valor de la indemnización (50% del COSTE_VUELO)36
VALOR_INDEMNIZACIÓN37 = COSTE_VUELO *0.5

// Transferencia VALOR_INDEMNIZACIÓN al PASAJERO desde la cuenta el
smart contract
Transferir VALOR_INDEMNIZACIÓN al PASAJERO y

// Calcular la cuantía restante que se transferirá a la AEROLÍNEA
Transferir CUANTÍA_RESTANTE A CUENTA_AEROLÍNEA
(CUANTÍA_RESTANTE = COSTE_VUELO - TOTAL_INDEMNIZACIÓN)

// Si no hay retraso, transferir el COSTE_VUELO completo a la cuenta de la
AEROLÍNEA desde la cuenta del contrato
ELSE Transferir COSTE_VUELO en CUENTA_AEROLÍNEA
```

En este ejemplo podemos advertir como, una vez que el cliente realice la compra del vuelo, quedaran definidas las variables requeridas por el *smart contract* (color rosa) que se desplegará³⁸ en la EVM. Este actuará a modo de depósito, reteniendo los fondos del pasajero hasta que llegue la fecha del vuelo y el contrato inteligente se ejecute conforme a las condiciones establecidas (color verde). De ellas, dependerá la acción que se ejecutará posteriormente en base a los datos verificados en tiempo real (color azul), de tal manera que:

- a. Si la hora real en la que sale el vuelo según la página del aeropuerto excediera en más de 60 minutos la hora de salida prevista, se devolverá la mitad del coste del vuelo al pasajero y la otra mitad se transferirá a la cuenta bancaria de la compañía (ya predefinida por defecto en el contrato color marrón).

³⁶ El símbolo “//” permite agregar comentarios en el lenguaje de Solidity.

³⁷ El valor de la indemnización del ejemplo corresponde a un caso práctico ilustrativo y no refleja una compensación fehaciente para este tipo de supuestos que se rigen por Reglamento (CE) nº 261/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre compensación y asistencia a los pasajeros aéreos en caso de denegación de embarque y de cancelación o gran retraso de los vuelos.

³⁸ Procedente del inglés *deployment*, este término se emplea para indicar la puesta en funcionamiento de un programa o *software* (Tur Faúndez, 2018, p.57).

- b. Si por el contrario todo transcurre según lo previsto y no se produce retraso o éste es menor de 1 hora, no será necesaria indemnización alguna y la totalidad de los fondos del pasajero se ingresarán en la cuenta de la aerolínea.

3 CICLO DE VIDA DE UN *SMART CONTRACT*

La estructura de autoimplementación sobre la que se vertebran los contratos inteligentes no contraviene la noción propia de contrato (Durovic et al., 2019). Resulta inherente a la naturaleza de cualquier contrato el cumplimiento de, principalmente, aquello que las partes han pactado en base al principio *pacta sunt servanda*, lo cual desplegará las consecuencias jurídicas correspondientes.

Pese al entorno y a las herramientas en las que se desenvuelven los *smart contracts*, podemos apreciar una estrecha equivalencia entre las diferentes fases de su *iter* de formación, perfección y consumación³⁹ y la de los contratos tradicionales (Vilalta, 2019).

3.1. Fase de código o programación

Correspondiente a la fase de formación contractual, en ella se determinarán las diferentes cláusulas que dan origen al negocio jurídico y se procederá a la traducción de la mismas de lenguaje natural a lenguaje informático en aras de establecer las ordenes necesarias que posibiliten su cumplimiento. De igual modo, las partes podrán convenir ciertas garantías que aseguren el cumplimiento de las obligaciones.

Dado el desarrollo abierto de las tecnologías DLT, los usuarios de la red podrán hacer uso de librerías preprogramadas con cláusulas estandarizadas que le permitan: (i) desplegar contratos por sí mismos en lenguaje informático, sin necesidad de acudir a terceros para que lo confeccione *ex novo*; y (ii) modificar el código con el ánimo de solventar errores o añadir nuevas funcionalidades. Cabe mencionar que si estas plantillas persiguen la finalidad de ser incorporadas a una pluralidad de contratos, en calidad de condiciones generales (en adelante, CGC), quedarán supeditadas a dos tipos de supervisión: (i) de inclusión o incorporación: las cláusulas deben ser claras, sencillas, concretas y fáciles de entender para el adherente; (ii) de transparencia y no abusividad cuando la relación jurídica se tipifique como de consumo (B2C): el adherente tendrán que comprender de un modo preciso las cláusulas y sus consecuencias económicas. (Vilalta, 2019, p.110)

³⁹ Vid. Anexo IV.

3.2. Fase de despliegue y vigencia o publicación

Considerando que, como hemos visto previamente, se dan los requisitos necesarios para calificar a los *smart contracts* como medio para formalizar contratos, esta etapa se corresponderá con la perfección del contrato, es decir, momento en el que las partes manifiestan su consentimiento en obligarse. Esta fase concurrirá con la incorporación del contrato inteligente encriptado a la Blockchain para su cumplimiento automático una vez que ha sido validado por los nodos (Castillo, 2022, pp.194-195).

Aquellos contratos que hagan uso de condiciones generales deberán contenerlas ya estipuladas en las distintas versiones del contrato, que deberán poner a disposición de los adherentes (lenguaje natural e informático). Su consentimiento, probablemente, se efectuará de manera similar a la contratación electrónica contemporánea, es decir, a través de una interfaz de usuario que no requiera que las partes interactúen con el código. Así, una aplicación o página web (*front end*) se comunicará directamente con el *smart contract* (*back end*), bien de forma descentralizada, pero interactuando con la Blockchain o directamente de forma descentralizada en la misma (*DApp*)⁴⁰ (Tur Faúndez, 2018).

3.3. Fase de ejecución o de llamada (*call*)

Una vez ejecutado el código, se desplegará la eficacia del contrato en los términos programados. La consumación y ejecución del conjunto obligacional que encierra el vínculo contractual adquiere especial relevancia en los *smart contracts*, habida cuenta de que será la tecnología la encargada de dar cumplimientos a las prestaciones convenidas por las partes, sin riesgo de que alguna de ellas decida no satisfacerlas. La automatización de la ejecución de las circunstancias previstas una vez se verifican por los nodos las premisas determinadas es una *conditio sine qua non* de los contratos inteligentes (Bourque et al., 2014, p.9).

Para el jurista Anguiano, especializado en Derecho Informático, en esta fase de la contratación cesa la convergencia entre los contratos convencionales y los inteligentes. Mientras en los primeros las partes conservan un ejemplar de los mismos firmado, o en su defecto, un certificado expedido por un “tercero interpuesto” con el propósito de poder acreditar la existencia del contrato y su contenido, en los *smart contracts* no será necesario

⁴⁰ Una aplicación descentraliza o *DApp* (por su acrónimo en inglés) se trata de una aplicación o sitio web que, mediante una API, permite interactuar con un contrato inteligente alojado en una plataforma Blockchain (Cai et al., 2018).

en vista de que la incorporación del código a un registro distribuido es suficiente para certificar su inalterabilidad (Anguiano, 2018).

4 VENTAJAS DE LA CONTRATACIÓN INTELIGENTE

En base a lo expuesto hasta el momento, podemos discernir como los *smart contracts* presentan una serie de características inherentes con las que se perfilan como potencial forma de contratación alternativa respecto a los contratos privados tradicionales al abordar y resolver algunas de sus limitaciones actuales:

4.1. Autoejecución

Con frecuencia, se hace alusión al carácter automático de los contratos inteligentes. Si bien esta afirmación es correcta, debemos precisar que éstos no se “autoejecutan”. Una vez que el contrato ha sido redactado, compilado y desplegado en la EVM para que se ejecuten deberán ser “llamados” (*call*)⁴¹. Las directrices incluidas en el código precisarán bajo que circunstancias se podrá interactuar con el *smart contract*^{42 43}. De esta manera, los efectos del contrato siempre se podrán predecir de manera absoluta *a priori*, sin dar cabida alguna a posibles errores humanos, la negociación entre las partes, desavenencia en la ejecución o el azar (Legerén-Molina, 2020, pp.290-291).

4.2. Imposibilidad de incumplimiento

Una vez que el contrato es “llamado” tendrá lugar la ejecución de las obligaciones establecidas de manera determinista según los términos estipulados en el código, evitando los perjuicios resultantes tradicionales derivados de un cumplimiento defectuoso o de un incumplimiento doloso o culposo, porque simplemente éste, teóricamente, ya no podrá tener lugar (Vilalta, 2019, p.114). En el preciso instante en el que el *smart contract* se despliega en la cadena de bloques se “independiza” de la voluntad de las partes, no hay posibilidad de paralizar ni modificar *ex post* lo realizado, independientemente de las circunstancias y otras consideraciones (Cuccuru, 2017, p.186).

⁴¹ *Vid, supra*, Capítulo 3, punto 3.3

⁴² La forma de interactuar con cada contrato se fija en la ABI (*Application Binary Interface*) del mismo. Homologas de las APIs tradicionales, permiten a los contratos inteligentes comunicarse con aplicaciones externas y otros *smart contracts* definiendo y listando los métodos específicos en los que pueden ser llamados para su ejecución. *Vid.* (Alchemy, 2022) *What is an ABI of a Smart Contract? Examples and Usage.*

⁴³ En Ethereum se advierten dos posibles tipos de operación con respecto a los contratos inteligentes: lectura y escritura. Solamente en la segunda se producirá una transacción que ejecutará la EVM y se incluirá en la cadena de bloques (González-Meneses, 2019, p.198).

En tal sentido, el uso de los contratos inteligentes constituye una garantía adicional que permite renunciar a la intervención de un tercero que supervise el cumplimiento con el correspondiente ahorro de costes. De forma análoga, la contemplación de un arbitraje para resolver eventuales disputas acerca de la ejecución o la incorporación de cláusulas penales resultaría innecesario y redundante.

4.3. Contratación entre extraños

Tradicionalmente son varios los elementos que pueden influir a la hora de ejecutar lo acordado a modo de aliciente o incentivo sin la necesidad de mecanismos jurídicos coactivos, como los valores de la reputación y la honestidad o la materialización de la “teoría de juegos”⁴⁴. En cambio, en el contexto de la contratación inteligente será en la propia tecnología en la que radicará la confianza, inclusive en escenarios de escepticismo relegando los citados elementos a un segundo plano (Werbach, 2018).

El *smart contract*, por ende, reemplaza la solvencia y la confianza de la otra parte por el código informático permitiéndole prescindir así de la intervención de un tercero de confianza y de un sistema de ejecución inexcusable que en los contratos tradicionales desempeñan los órganos judiciales (Coderch, 2018). Como apunta Legéren-Molina (2020) “en el ámbito de los *smart contracts* ejecutados en la cadena de bloques la confianza se *mecaniza*: si no existe, la informática la crea; si existe, multiplica su eficacia” (p.293). Al eliminar el riesgo de incumplimiento de la otra parte se constituye un entorno idóneo para la contratación ya no solo en los conocidos como contratos entre ausentes o a distancia, sino también para aquellos efectuados entre sujetos completamente desconocidos⁴⁵. Bajo esta premisa, se ha sugerido que los contratos inteligentes se imponen a los contratos tradicionales al facilitar el comercio sin que resulte preciso la autoridad del sistema legal (González-Meneses, 2019, p.146).

4.4. Seguridad e inmutabilidad

⁴⁴ Esta teoría estudia el comportamiento estratégico de diferentes sujetos que interactúan en situaciones en las que su decisión individual puede verse afectada por sus expectativas sobre las acciones que efectuarán los demás (Monsalve, 2003, p.2). En lo referente a la contratación el cumplimiento ocasionaría una situación beneficiosa para todos los participantes.

⁴⁵ En el escenario de la contratación inteligente en cadenas de bloques públicas únicamente resultará imprescindible conocer la “dirección” de la otra parte (similar al número de cuenta corriente de un banco), sin que resulte indispensable conocer la identidad de la persona que se encuentra detrás de la misma. No obstante, existen mecanismos que permitirían su identificación como por ejemplo mediante el rastreo de la dirección IP.

El empleo de Blockchains públicas para validar y verificar los contratos inteligentes permite dotar a los mismos de una mayor seguridad. La confianza en este escenario no recae sobre un único participante, sino en una pluralidad que dificulta y hace prácticamente imposible la modificación o manipulación de la información. Asimismo, la multitud de nodos que conforman la red operan como “un ordenador mundial” evitando así que el *smart contract* pueda extraviarse, puesto que todos ellos contienen una copia que se ejecuta simultáneamente. El carácter público de la cadena de bloques permite que cualquier usuario de la red pueda acceder y consultar la información contenida en la misma con la garantía de que los datos resultarán consistentes e inmutables en el tiempo: se trata de bases de datos *append-only* en la que se podrá agregar nueva información, pero nunca eliminar o modificar la ya incluida (Legerén-Molina, 2020).

Conforme se ha expuesto anteriormente, existe una tendencia a la estandarización de los *smart contracts* a través del uso de plantillas. En Ethereum podemos distinguir los ERC (*Ethereum Request for Comments*) que son modelos de contratación propuestos y ratificados por la comunidad con el propósito de optimizar y simplificar su programación. Los más conocidos y empleados son el *ERC20* y el *ERC721*⁴⁶ que permiten generar *tokens* fungibles y no fungibles respectivamente. Con el tiempo, podemos esperar que estos modelos homogéneos continúen su desarrollo en ámbitos específicos como el financiero o el legal. Por último, debemos hacer mención también a la facilidad que esta uniformidad implica en aquellas operaciones de carácter internacional, minimizando o eliminando los diferentes requerimientos específicos de cada una de las legislaciones implicadas en el acuerdo (Eenmaa-Dimitrieva et al., 2019, p.82)⁴⁷.

4.5. Escalabilidad (Internet de las Cosas)

A pesar de que en la actualidad presentan un espectro limitado, el desarrollo y expansión del IoT en los próximos años traerá consigo que crezca exponencialmente el número de dispositivos conectados entre sí y con Internet. Los *smart contracts* desempeñan un papel fundamental en este proceso, ya que solamente mediante esta tecnología se podrá afrontar

⁴⁶ Esta estructura de datos ha cobrado especial relevancia gracias a los populares NFTs; activos digitales que mediante *smart contracts* permiten acreditar la titularidad sobre un activo ya sea digital o físico (Wang et al., 2021); Vid. (Bit2Me Academy, 2021) *¿Qué es un token NFT?*.

⁴⁷ Vid. (European Commission, 2020) *The European Union Blockchain Observatory and Forum 2018-2020: Conclusions and Reflection*.

los desafíos de escalabilidad y seguridad que supone IoT en materia de contratación, especialmente dada su vinculación con consumidores y usuarios (ETN-Network, 2023).

La integración de objetos y dispositivos fuera de la cadena (*off-chain*) con los *smart contracts* supone la integración definitiva del mundo real con el digital mediante la intervención de los siguientes elementos (Tur Faúndez, 2018, p.):

- Un objeto externo a la cadena de bloques provisto con tecnología suficiente para poder detectar y procesar la información que puede conformar el evento que desencadene la ejecución automática.
- Una red que permita conectar el dispositivo físico con la Blockchain (Internet).
- Un *smart contract* incorporado a la cadena de bloques (*p. ej.* Ethereum) que verificará la concurrencia de las condiciones establecidas en el evento señalado por el dispositivo para posteriormente proceder a transmitir al mismo la ejecución de una orden (*p. ej.* abrir-cerrar, encender-apagar...).

En función de las interacciones y de la integración de los dispositivos con la tecnología Blockchain podemos diferenciar diferentes enfoques: (i) IoT-IoT: Las interacciones ocurren entre dispositivos IoT y solo una parte de las mismas se almacenan en la cadena; (ii) IoT-Blockchain: todas las interacciones quedan anotadas en la Blockchain generando un registro inmutable; (iii) Enfoque híbrido: combina los dos enfoques anteriores, registrando algunos datos en tiempo real y otros en diferido (Reyna et al., 2018)⁴⁸.

La IoT puede ser aplicada en numerosos ámbitos. A modo de ejemplificación, algunos casos ilustrativos del uso de este tipo de contratos podrían ser:

- *Industria alimentaria*: en el transporte de alimentos, los envases valiéndose de diferentes sensores podrían garantizar en todo momento su trazabilidad y el cumplimiento de las condiciones ambientales idóneas de transporte. En caso contrario, el *smart contract* podría desencadenar la finalización del envío.
- *Industria financiera*: en el supuesto de un préstamo concedido con el propósito de financiar la compra de un automóvil, si el deudor no satisficiera el pago de una de las cuotas, el contrato inteligente revocaría una cláusula por la que se otorga el control del vehículo al banco (González-Meneses, 2020, p.71).

⁴⁸ Vid. Anexo V.

IV. DIFERENTES DIFICULTADES Y RETOS LEGALES ACTUALES QUE PRESENTAN LOS CONTRATOS INTELIGENTES

De acuerdo con el estado actual de la tecnología Blockchain, existen diversas restricciones técnicas que impiden su adopción generalizada en el ámbito de la contratación. Del mismo modo, su temprana etapa de desarrollo propicia que existan implicaciones jurídicas que, hasta el momento, no han sido abordadas por el derecho pero que precisan de alguna solución para poder dotar de seguridad jurídica tanto al sector y la industria tecnológica, como al mercado al que se orientan.

1 LIMITACIONES OPERATIVAS

1.1. Excesiva rigidez inherente a los *smart contracts*

Si bien la principal ventaja de los *smart contracts* es la programación de una o varias prestaciones que aseguren su ejecución, ésta tiene como contrapartida una excesiva rigidez que impide la modificación de su contenido ante circunstancias sobrevenidas que pudiesen acontecer desde que se despliega el código hasta que se consuma el contrato (Sklaroff, 2018). Únicamente se podrá modificar el contrato si en el momento de su celebración así se previó y se incorporó un código adicional a modo de “ventanilla de escape” que pudiese ofrecer cierta flexibilidad⁴⁹ o de “autodestrucción” (se impedirían las futuras “llamadas” al contrato, pero no se eliminarían los datos anteriores), lo cual para algunos autores parece complicado y le restaría eficacia (Serra Rodríguez, 2021).

1.2. Escalabilidad limitada

Más que de los *smart contracts*, este reto es propio de la Blockchain que los contiene y de la que dependen. Cualquier cadena de bloques se enfrenta al complejo “trilema” de la escalabilidad, es decir, buscar un equilibrio para conseguir que sea segura (resistente ante posibles intentos de *hackeos*), escalable (crecer de manera sostenible) y descentralizada (el control se encuentra lo suficientemente repartido como para evitar eventuales comportamientos maliciosos) (Carrascosa, 2021). Factores como la centralización de los mineros, el consumo excesivo de energía o la reducción de incentivos limitan el crecimiento de las Blockchains.

⁴⁹ Una posible solución a esta problemática es el uso de una estructura *proxy* que permita vincular diferentes contratos inteligentes para que en el caso de modificación de un *smart contract*, este pueda ser enlazado a uno nuevo que recoge los términos actualizados (Castillo, 2022).

A pesar de que no existe una solución concreta a este problema, su especial relevancia ha llevado a la comunidad a tratar de resolverlo mediante diferentes vías (Binance, 2022):

- i. *Sharding*: método que consiste en la fragmentación de una cadena de bloques en otras más pequeñas que se encargan de gobernar segmentos de datos específicos.
- ii. Mecanismos de consenso alternativos: El mecanismo PoS está experimentando un incremento de su popularidad como opción más sostenible frente al PoW.
- iii. *Sidechains* o *state channels*: Blockchains o *smart contracts*, respectivamente, que se conectan a la cadena principal con el fin de aliviar la presión de la misma.

1.3. Eventuales *hackeos* y *bugs* del código

La esencia colaborativa de la tecnología de registros distribuidos conlleva que no exista una persona o entidad “dueña” de la plataforma a la que acudir y exigir responsabilidad ante un posible ataque del sistema o del *smart contract* específico. A esta circunstancia debemos sumarle que la invulnerabilidad del mundo *on-chain* (dentro de la cadena) se ve amenazada una vez que se recurre a los oráculos para obtener información necesaria del exterior, dado que estos también pueden sufrir *hackeos*⁵⁰.

En lo relativo a los *bugs*, las disfunciones en el código no siempre obedecen a causas maliciosas, a los posibles errores cometidos por los programadores al codificar el contrato en lenguaje informático se le unen las divergencias resultantes de la compilación del código y que pueden dar lugar a debilidades susceptibles de ser explotadas por terceros (Legerén-Molina, 2020, pp. 305-307).

2 DESAFÍO LEGALES

A raíz de la ausencia de regulación y de la carencia de estudios que aborden desde una perspectiva jurídica este nuevo entorno socioeconómico debemos esclarecer, atendiendo a nuestro marco legal, diversas cuestiones que se aprecian en cada una de las etapas que atraviesan los contratos inteligentes.

2.1. Etapa de formación y perfección

⁵⁰ Nos encontramos con la paradoja de que frente a la pretendida desintermediación se acaba supeditando la confianza a un tercero (oráculo). Por tanto, la cadena de bloques únicamente resulta ventajosa cuando los intermediarios suponen un elevado coste económico o su honestidad es cuestionable (Cuccuru, 2017).

El principio aceptado en la mayoría de ordenamientos jurídicos occidentales es que el contrato se perfecciona con el consentimiento de las partes mediante una declaración o conducta del aceptante que manifiesta su conformidad.

2.1.1. *Identificación y capacidad de obrar de las partes*

Una de las principales problemáticas de los contratos inteligentes es la identificación de las partes contratantes. Sobre éstas, ya sean físicas o jurídicas, recaerán los efectos jurídicos del acuerdo y su responsabilidad por lo que resulta necesario poder identificarlas con el ánimo de constatar su capacidad de obrar suficiente para el negocio jurídico concreto. De no ser así, se podrían derivar graves consecuencias como la anulabilidad del contrato (lo que supone un reto técnico en Blockchain) (Mora Astaburuaga, 2021)

En virtud de lo expuesto, resultará imprescindible la utilización de algún tipo de mecanismo de prueba de identidad (KYC). Un posible mecanismo sería el empleo de la firma electrónica⁵¹ para poder perfeccionar *smart contracts*. Con su uso se desaparecería otro riesgo presente en la contratación pseudoanónima y que repercute en la validez del contrato, la contratación con menores (Martínez, 2019, p.11).

2.1.2. *Comprensión del código y voluntad contractual*

La programación de una estipulación contractual puede resultar compleja, a tenor de una redacción desacertada o incorrecta que induce a distintas interpretaciones. La automatización del cumplimiento en los *smart contracts* puede ayudar a reducir la incertidumbre inherente a los términos del contrato. Aun así, este proceso no sencillo y la traducción de cláusulas jurídicas a código puede derivar en un error de estructura del contrato que origine un resultado diferente al pretendido (Castillo, 2022, p.192).

Bajo este contexto, podría requerirse la intervención de un tercero (programador) incrementado los costes y amenazado el principio de libertad y la autonomía de la voluntad privada ante la dificultad de comprensión del código. Con miras a superar este escollo, se están desarrollando *softwares* que permitan la traducción de lenguaje natural a jurídico y viceversa⁵², aunque por el momento, no se ha logrado ninguno que consiga alcanzar los matices y la riqueza que requiere el lenguaje jurídico (Vilalta, 2019, p.126).

⁵¹ Regulada en nuestro país mediante la Ley 6/2020, de 11 de noviembre y el Reglamento eIDAS.

⁵² Producto de un proyecto de la UE, el lenguaje Agrello adopta especificaciones legibles y comprensible sobre derechos y obligaciones (Norta et al., 2017).

2.1.3. *Términos jurídicos indeterminados y objetivación de la realidad*

Para que un *smart contract* pueda desarrollar la totalidad de su potencial y aportar valor es condición indispensable que las prestaciones del contrato estén condicionadas por circunstancias estrictamente objetivas y verificables. De ahí que cláusulas que exijan de interpretación no tengan cabida (p. ej. “buena fe” o “fuerza mayor”) (Werbach et al., 2017, p.367).

Esta singularidad propicia que el contrato inteligente únicamente admita una interpretación, desterrando así cualquier tipo de “ambigüedad”. Por este motivo, la consecución de relevancia jurídica en *smart contracts* dependerá del caso concreto, salvo que se recurra a oráculos que emitan un juicio de valor, imparcial e independiente.

2.1.4. *Eficacia*

Los contratos inteligentes, vista su estructura programática preestablecida, se presentan insuficientes ante la imposibilidad presente de prever la totalidad de situaciones futuras que prevengan una eventual renegociación de las cláusulas o renovación de la voluntad de las partes. Tan solo cuando la tecnología sea capaz de remediar esta cuestión podremos hablar de contratos realmente inteligentes (Jiménez, 2018).

Por otro lado, teniendo presente que en la mayoría de ocasiones este tipo de contratos acudirán a cláusulas predisuestas y no negociadas deberá verificarse que son respetuosas con la normativa *ius cogens* (p. ej. CGC abusivas o preservación de los derechos de propiedad intelectual). De no ser así, podrían adolecer vicios con consecuencias muy desfavorables para los usuarios. Y en consideración de lo mencionado, puesto que Blockchain confiere a los usuarios pseudononimato, siempre subsistirá la posibilidad de que el contrato involucre un propósito ilícito (Savelyev, 2017, p.20).

2.1.5. *Lugar de perfeccionamiento del contrato*

Puede acontecer que las partes se hallen en diferentes lugares en el momento de la celebración del contrato. Presumiendo la resolución que se adoptó para este asunto en relación a los contratos electrónicos se presumirá el lugar en el que esté establecido el prestador de servicios como lugar de celebración (art. 29 Ley 34/2002).

En cualquier caso, en las relaciones de consumo siempre se tendrá presente la residencia habitual del consumidor para fijar el lugar de celebración. (Vilalta, 2019, p.143).

2.1.6. *Ley aplicable y competencia judicial*

A pesar de que fueron muchos los que pensaron que los *smart contracts* acabarían con la jurisdicción de los Estados al no ser necesario la aplicación de ninguna legislación estatal, a la imposibilidad práctica de la situación se le une la improbabilidad de que los Estados acepten esta circunstancia, pues su soberanía y el imperio de la ley quedaría mermado. Por la estructura de Blockchain es fácil que converjan elementos de internacionalidad que influyan en la ley aplicable. El artículo 3 del Reglamento Roma I establece el principio de libertad de las partes para elegir la ley aplicable en las materias disponibles y que puede recogerse tanto de manera *on-chain* como *off-chain* (Fetsyak, 2020, pp.224-226).

En ausencia de elección, se atenderá en función del tipo de contrato a criterios subsidiarios como el lugar de residencia habitual (si no pudiera precisarse se valorarán factores como la localización de los nodos o los términos de uso de la plataforma) (O'Shields, 2017). Será especialmente relevante a la hora de determinar la competencia judicial comprobar la existencia o no de sumisión, foros de protección o competencias exclusivas; pues la regla general señala que se someterán a los tribunales del Estado en el que residan (art. 4.1 Reglamento Bruselas I bis).

2.2. **Etapa de consumación**

Una vez perfeccionado el contrato, las partes quedan sometidas al cumplimiento de lo pactado conforme a la ley, los usos y la buena fe; abarcando también todo aquello que sea necesario para la ejecución (en este caso la tecnología) (Lacruz Berdejo, 2011, p. 515).

2.2.1. *Doble consentimiento y vicios del mismo*

La existencia de métodos de identificación únicamente permite acreditar de manera fehaciente que quien emite el consentimiento es realmente quien dice ser, sin embargo, no garantiza que el consentimiento prestado sea válido con las consecuencias contractuales que ello implica: la anulabilidad o nulidad cuando no reúnan los requisitos legales exigibles. En los *smart contracts* el desafío no es su detección, sino las dificultades técnicas que ello presenta. El hecho de no poder eliminar el contrato de la cadena de bloques impide que su ejecución pueda ser paralizada. Se requerirá producir los efectos *ex post* de manera restitutiva una vez que el contrato haya sido declarado nulo o anulable por un Juez (Mora Astaburuaga, 2021, p.79).

Otra cuestión planteada por algunos estudiosos es la necesidad o no de otorgar un doble consentimiento: uno sobre el contenido obligacional y otro sobre el cumplimiento automático de los términos. No obstante, este criterio no parece preciso puesto que la implementación autónoma es una consecuencia natural de la elección de esta modalidad de contrato (Vilalta, 2019, p.132).

2.2.2. *Coste*

El despliegue de un contrato inteligente requiere de una comisión a la que deben hacer frente los usuarios de la red para validar las transacciones⁵³. Ésta no es una cantidad fija, dependerá de diferentes variables (*p. ej.* la saturación de la red) que en determinadas condiciones puede hacer la transacción inviable dado su costo (Castillo, 2022).

2.2.3. *Incumplimiento o cumplimiento defectuoso y responsabilidad contractual*

Desde un plano teórico, puesto que la ejecución automática no requiere intervención humana, puede resultar impensable la posibilidad de un incumplimiento que, si bien se restringe de forma importante, no se llega a suprimir por completo.

El incumplimiento o cumplimiento defectuoso continuará pudiendo darse tanto de manera imputable mediante la realización de conductas cuyo fin sea impedir la ejecución automática (*p. ej.* sí una de las partes tuviera una obligación pecuniaria y procede a dejar la cuenta bancaria desde la que se efectuará el abono con un saldo insuficiente); o de manera que no resulte imputable para ninguna de las partes⁵⁴ (*p. ej.* un error de la programación o del oráculo que no permite verificar las condiciones preestablecidas). Por esta razón, los *smart contracts* no podrán renunciar a los recursos existentes en el Derecho que permitirán a la parte perjudicada exigir el cumplimiento de lo pactado (ya sea *in natura* o en un nuevo contrato inteligente) y si procede, reclamar una indemnización por daños y perjuicios (a la otra parte o al tercero responsable) (Fetsyak, 2020, p.222-223).

Otra cuestión delicada es garantizar la imparcialidad, congruencia y fiabilidad de los oráculos como fuentes externas que suministran datos a la cadena para ejecutar lo acordado. En un contrato de seguro en el que se fije una compensación en caso de granizada, las consecuencias de que el dispositivo IoT sea susceptible de ataque o que

⁵³ Esta comisión se conoce como “gas”. En Ethereum se utiliza su criptomoneda Ether. *Vid.* (López Sánchez, 2021, p.531) *Smart contracts*.

⁵⁴ Especial relevancia tendrá las consecuencias económicas y jurídicas de esta contingencia para los contratos de adhesión, dirigidos a un extenso e indeterminado número de personas (Legerén-Molina, 2018).

califique una granizada como tal o como lluvia torrencial pueden ser sustanciales para el tomador. Una solución plausible a este inconveniente podría pasar por el empleo de varios oráculos que requieran verificar la condición por la mayoría de ellos para evitar discrepancias (Navarro de Andrés, 2018, p.354-355).

2.2.4. *Propagación de efectos y “falsos terceros”*

Es habitual en los contratos inteligentes encontrarnos con grupos de contratos autónomos o que se hallan en una situación de dependencia. No entraremos a explicarlos por motivos de espacio, pero es importante conocer que la relación entre ellos en ambos casos será trascendental, pues las consecuencias jurídicas que se deriven podrían extenderse a todos ellos en cadena dando lugar a la responsabilidad de las diferentes partes, también señalados como “falsos terceros”. Reflexionemos en el ilustrativo ejemplo que expone Phillipe (2018): *una persona concierta el leasing de un vehículo en una plataforma Blockchain. Se abona una cuota mensualmente que de no producirse desencadenará que el coche se pare y se bloquee. Si un mes por algún motivo no se lleva a cabo el pago y el coche se para provocando un accidente y daños al conductor y a terceros, el diseñador del software y el acreedor podrían incurrir en responsabilidad.*

2.3. **Etapas de autoejecución**

El último estadio de los *smart contracts* se corresponde *stricto sensu* con la autoejecución. Si el contenido contractual se implementa sin incidencias esta etapa no será necesaria, pero como hemos expuesto previamente la posibilidad de conflicto entre las partes continúa viva y no pueden quedar desprotegidas.

Con la evolución de los contratos inteligentes, se han ido incorporando mecanismos para resolver el incumplimiento o el cumplimiento defectuoso como sistemas de resolución en línea (ODR) o el uso de inteligencia artificial para solventar disputas. Pero pese a ello, aún subsisten desafíos que necesitan y requieren ser abordados.

2.3.1. *Principio del valor probatorio*

A pesar de que las cadenas de bloques pueden llegar a representar una fuente de prueba sumamente práctica gracias a la inmutabilidad, transparencia, y publicidad que le confieren sus características propias⁵⁵, disponer de sus datos o de los de los oráculos que

⁵⁵ Vid. (Ortega et al., 2018) *Blockchain, admitido como medio de prueba en juicio en China.*

intervienen en la transacción con objeto de interponer una reclamación ante los órganos judiciales puede plantear cierta complejidad. El hecho que gran parte de la información se encuentre encriptada dificulta significativamente su acceso y propicia la colaboración del agente desarrollador para facilitar a la parte los elementos que se precisen en base al principio de facilidad probatoria. Bajo este contexto podría llegar a ponderarse incluso la posibilidad de revertir la carga probatoria de *lege ferenda* (Vilalta, 2019).

2.3.2. Acciones judiciales

Las personas físicas o jurídicas residentes en la UE, en virtud de la libertad de elección (*fórum shipping*) que establece el Reglamento Bruselas bis del 2012, podrán escoger el tribunal de justicia al que deseen acudir. Ahora bien, si la relación jurídica fuese B2C debemos atender a los arts. 15 a 17 del citado Reglamento en el que se fija que el consumidor solo pueda demandar y ser demandado en los tribunales de su propia residencia⁵⁶.

Ante la falta de designación, surge cierta incertidumbre sobre la posibilidad de llevar a la práctica este planteamiento. La dificultad para identificar todos los agentes involucrados, cada uno de ellos emplazado en una jurisdicción distinta, y la eventual posibilidad de que se encuentren pseudoanonimizados impediría poder fijar su lugar de residencia para identificar la correspondiente competencia judicial (York et al., 2016, p.26). Así pues, resultaría oportuno la clara especificación de la ley aplicable para cada situación concreta y la identificación del operador de la plataforma Blockchain.

2.3.3. Cumplimiento del Reglamento General de Protección de Datos (RGPD)

El RGPD resulta de aplicación para el tratamiento de datos personales de personas físicas. En el escenario de los *smart contracts*, tanto las identidades pseudoanónimas como sus claves públicas son considerados datos personales derivando en la necesidad de aplicar esta normativa a las cadenas de bloques públicas que operen en el entorno europeo.

Su cumplimiento no parece técnicamente sencillo ya que su aplicación suscita diferentes problemas (como la dificultad de determinar al responsable del tratamiento de los datos o la aplicación del derecho al olvido) y requiere que por el momento la normativa se adapte a cada caso concreto (Legerén-Molina, 2020, p.311-316).

⁵⁶ En este mismo sentido se manifiesta el Reglamento Roma I, garantizando que el consumidor bajo ningún precepto puede ser privado de la protección resultante de las normas obligatorias de la ley de su domicilio.

V. POSIBLES FUTUROS ÁMBITOS DE APLICACIÓN DE LOS SMART CONTRACTS EN EL DERECHO MERCANTIL

Al amparo de esta nueva realidad, han emergido nuevas formas de gran utilidad para poder aplicar Blockchain y los *smart contracts* en diversos sectores. Aunque en la realidad presente, no representan en absoluto los usos que podrán alcanzar en el futuro donde podrán aplicarse prácticamente a todos los aspectos. A continuación, examinaremos algunos posibles escenarios prácticos en el ámbito del Derecho Mercantil y en concreto, potenciales aplicaciones de esta tecnología en el Derecho Societario.

1 INDUSTRIA CREATIVA

La industria creativa desde sus orígenes ha conllevado unos elevados costes de transacción a causa del largo camino que experimentan las obras⁵⁷, desde que el artista las crea hasta llegar al consumidor final, originando “cascadas” en las que los beneficios se dividen y se reducen entre los diferentes intermediarios dejando al artista tan solo una pequeña fracción del valor creado por él⁵⁸. Por añadidura, la implicación de un número tan elevado de agentes genera inconvenientes como (Malik et al., 2023):

- i. *Falta de estandarización*: los creadores licencian y distribuyen sus contenidos a través de diferentes modelos de negocio, cada uno de ellos con su propio sistema de royalties.
- ii. *Ausencia de confianza*: en numerosas ocasiones los distribuidores finales (*p. ej.* Spotify) son los únicos que conocen los detalles completos de la explotación.
- iii. *Postergación de los pagos*: los artistas experimentan dificultades para financiar su carrera; pues un compositor no suele recibir royalties hasta pasados 12 meses.
- iv. *Centralización del poder*: los artistas quedan sujetos a las condiciones y prácticas establecidas de las plataformas que dominan el correspondiente mercado.

Sin embargo, Blockchain mediante los *smart contracts* y los NFTs se constituye como una promesa a no solo reducir gran parte de estos costes de transacción, sino también proteger la autenticidad y propiedad de estas obras, como analizaremos seguidamente, en su aplicación a la industria musical.

⁵⁷ *Vid.* Anexo VI.

⁵⁸ En este sentido, podemos resaltar los datos arrojados por un estudio elaborado por Citi (2018) sobre la industria musical en EE.UU. que puso de manifiesto como los artistas reciben tan solo el 12% de las ganancias totales generadas.

1.1. NFTs: un nuevo paradigma para la protección de la propiedad intelectual

A pesar de que no constituye la cuestión primordial del estudio, debemos hacer referencia a como los NFTs permiten mantener en todo momento los derechos de propiedad intelectual.

Frecuentemente, en una canción o álbum suelen participar numerosos colaboradores (artistas, productores, ingenieros de sonido, etc.). Esta información se encuentra contenida en los metadatos del archivo de las canciones, que para que todos ellos reciban el debido reconocimiento deben ser consistentes y precisos en todas las plataformas. Sin embargo, la larga cadena de intermediarios por la que las canciones transcurren hace que muchas ocasiones por errores informáticos o humanos esta información se pierda. Mediante la *tokenización*⁵⁹ este inconveniente se mitigaría ya que los metadatos permanecerían en todo momento inalterados y se garantizaría la identificación y reconocimiento de una manera justa de cualquiera de los artistas que hubieran participado en la obra, independientemente de su “estatus” (Gupta, 2020).

1.2. Smart contracts, ¿la revolución de los royalties musicales?

Una aplicación emergente de los contratos inteligentes permitiría a los artistas poder controlar y monitorizar en tiempo real el rendimiento de sus canciones (*p. ej.* número de reproducciones⁶⁰) en las diferentes plataformas en las que se encuentre. Sin la necesidad de depender de ellas, los artistas dispondrían del control total de cómo su música es distribuida y monetizada. Con un *smart contract* se podrían programar diferentes términos sobre como los royalties son distribuidos en función de parámetros como los artistas participantes en el tema, el tipo de uso o el territorio. Posteriormente, el servicio de *streaming* mediante APIs se conectará al contrato en el que se recogerá la información para el posterior pago automático a los beneficiarios de los derechos. Este sistema aportaría transparencia y confianza, reduciendo las frecuentes disputas judiciales por el pago de royalties e infracciones de autor (Garg, 2023).

⁵⁹ Es el proceso por el que un activo se representa digitalmente en un entorno Blockchain y por el que se faculta su tráfico jurídico mediante *smart contracts* (Cediel Serra et al., 2020). Se podrá emitir un solo *token* por el valor total del activo o un número mayor de ellos, reduciendo el valor nominal de cada uno de ellos (Ruiz-Gallardón, 2020).

⁶⁰ Una de las mayores plataformas de *streaming* del mercado, Spotify, paga a los artistas 0,00437\$ de media por reproducción (Calboli, 2022, p.235)

Aunque las posibilidades que esta tecnología disruptiva puede traer a la industria musical no acaban aquí⁶¹, esta aplicación aún resulta en sus primeras etapas de desarrollo y parece que se necesitan aún varios años para poder hacer uso de su potencial (Music Business Worldwide, 2022). Con todo, se auguran notorias innovaciones en la industria para los próximos años, en donde la IA también jugará un rol fundamental y en la que quien sabe si no veremos a los artistas compartir sus royalties con aquellas personas que generen canciones utilizando su voz de manera artificial (Gendron, 2023).

2 SECTOR ASEGURADOR

Las entidades y organismos de los seguros también han empezado a indagar en las distintas oportunidades que le brindan los *smart contracts*. A pesar de que aún en este sector no se ha explorado todas las posibilidades de la tecnología Blockchain, son varios los escenarios en los que se puede vislumbrar un importante impacto de la aplicación de esta tecnología (Gatteschi et al., 2018):

2.1. Experiencia de cliente mejorada y reducción de los costes operativos

El tiempo en el que se tramitan las reclamaciones constituye un aspecto esencial para los clientes a la hora de decantarse por una compañía. A mayores, este proceso suele estar acompañado de numerosos costes y errores asociados al procesamiento manual de los partes interpuestos. Como se expuso previamente en los casos de (i) la indemnización a los viajeros por el retraso del avión, y (ii) la compensación generada automáticamente tras la verificación de lluvias torrenciales por un dispositivo IoT: el abono se produce de manera automática al verificarse el cumplimiento de la situación cubierta por el seguro.

De este modo, los *smart contracts* ofrecen beneficios tanto a las compañías que ahorran en costes operativos y podrán no ejecutar el seguro si verifican que existe falta de pago, como a los clientes que recibirán su dinero antes de que incluso sean conscientes de los daños.

2.2. Fijación de la prima, valoración de riesgos y prevención del fraude

A partir de la gran cantidad de datos recogidos por múltiples intermediarios (como compañías de seguros, organismos médicos o policiales, etc) el contrato automáticamente

⁶¹ También por medio de *smart contracts* se podría dividir la propiedad de las canciones en *tokens* ofreciendo a los *fans* la posibilidad de participar en la propiedad o el reparto de royalties, siendo éstos objetos de tráfico jurídico mediante la tecnología Blockchain (Garg, 2023).

será capaz de calificar el riesgo del asegurado para ofrecer al cliente una prima de seguro acorde al mismo; así como prevenir posibles fraudes en base a evidencias anteriores.

2.3. Pay per use (pago por uso) y microseguros

Probablemente el caso de uso más fácil de llevar a cabo sea el de los microseguros. Un modelo de negocio práctico y atractivo que hasta ahora era imposible de llevar a cabo por los costes administrativos que implicaban. Sin embargo, con la llegada de los *smart contracts* y los dispositivos IoT pronto podríamos suscribirnos a pólizas inteligentes que únicamente se activen al concurrir unas circunstancias específicas (*p. ej.* se detecta que un coche está en movimiento gracias a señales GPS) y pagar conforme a su uso.

3 SECTOR FINANCIERO

La tecnología DLT y los contratos inteligentes pueden cambiar la fisionomía del sector financiero tanto en la vertiente de la banca comercial como en la de la banca de inversión. La posibilidad de disponer de una mayor velocidad de procesamiento junto con la llegada de las finanzas descentralizadas (DeFi) o, en otras palabras, la comercialización en plataformas Blockchain de productos financieros clásicos abre las puertas a una potencial transformación de la actividad bancaria:

3.1. Préstamos al consumo

Entre los contratos tradicionales de adopción en masa se encuentran aquellos destinados habitualmente a la compra de bienes y que no suelen consistir en importes muy elevados. Las probabilidades de impago para este tipo de créditos se reducirían con la aplicación de contratos inteligentes, ya que en caso de vencer el plazo de pago se impediría automáticamente el acceso a los fondos, o se activarían las garantías correspondientes (Echebarría Sáenz, 2017).

3.2. Compensación y liquidación de créditos

El empleo de *smart contracts* correctamente programados permite reducir los costes asociados al análisis y procesamiento de datos con el propósito de compensar y liquidar posiciones en valores negociables y otros productos financieros, como derivados o futuros (Ibáñez Jiménez, 2018b). Según reconoció la ESMA (2016), el riesgo de incumplimiento mediante el uso de esta tecnología es virtualmente nulo.

3.3. Nuevas formas de financiación empresarial

En los últimos años, se ha multiplicado la cantidad de proyectos empresariales (especialmente en el ámbito tecnológico) que recurren a financiación externa para poder seguir creciendo (El Referente, 2023). Sin embargo, esta alternativa puede resultar inaccesible para aquellos proyectos que no cuenten con los medios necesarios.

Desde 2017, las ITO (Oferta Inicial de *Tokens*, por sus siglas en inglés) representan una nueva forma de financiación mediante *smart contracts* que permite a las empresas obtener financiación externa sin la necesidad de recurrir a intermediarios. Su funcionamiento es muy similar a las IPO (Initial Public Offering; OPV en España), solo que en vez de acciones las empresas emiten *tokens* que representarán una serie de derechos para los inversores definidos previamente. Sin embargo, esta modalidad de financiación por el momento se encuentra en ciernes y aún presenta obstáculos como la falta de transparencia o la ausencia de regulación (Momtaz et al., 2019)

4 DERECHO SOCIETARIO

En términos generales, la práctica societaria no suele mostrarse reticente a la hora de aplicar las mejoras que la tecnología le proporciona. Ejemplo de ello son la aplicación de los sistemas de anotaciones en cuenta o la reciente Directiva (UE) 2019/1151 que trajo consigo la constitución de sociedades íntegramente online (Noval Pato, 2022, p.207).

En un futuro más o menos próximo la tecnología Blockchain alcanzará también varios de los aspectos de la práctica corporativa, desde su creación y registro hasta la emisión de participaciones y adopción de acuerdos en la Junta General. Todo ello garantizando una mayor transparencia y generando una mayor confianza para los accionistas (Bednarz, 2020, p.19):

4.1. La adopción de acuerdos sociales

La legislación de nuestro país recoge las normas aplicables a la adopción de acuerdos sociales en la Ley de Sociedades de Capital (en adelante, LSC). En ella se establece que serán los socios quienes en el seno de la Junta General expresen su voluntad por medio de estos acuerdos (art. 159 LSC), así como los requisitos de quorum (arts. 193-194 LSC) y mayoría necesaria (arts. 198-201 LSC) para su aprobación.

El uso de *smart contracts* permitiría ya no solo verificar el cumplimiento de estas exigencias para la adopción de los acuerdos adoptados en la Junta General, sino también configurar su ejecución automática de manera inmutable, transparente y segura (p. ej. aumento o reducción del capital social, el reparto de dividendos o la adjudicación de la cuota correspondiente a cada accionista en caso de liquidación de la sociedad).

Corresponde por tanto en este punto, abordar el ejercicio del derecho de voto de los accionistas en la Junta General. El sistema actual vigente presenta diferentes dificultades que desfavorecen una plena implicación de éstos y, por tanto, del correcto funcionamiento de la sociedad, como pueden ser una excesiva intermediación o falta de transparencia en la titularidad de las acciones.

En este contexto y con el fin de resolver estos inconvenientes y lograr una mayor implicación de los accionistas en 2017 se aprobó la Directiva 2017/828. La implementación de la tecnología Blockchain permitiría mejorar su cumplimiento, así como el de su Reglamento de Ejecución 2018/1212 al crear un sistema de voto que permita mejorar la transparencia e identificación de los votos (Peinado et al., 2021, p.19).

Un claro ejemplo del uso de esta tecnología fueron las Juntas Generales del Banco Santander en marzo de 2018 y en abril de 2019 en las que en colaboración con la empresa de soluciones *fintech* Broadridge, se utilizó un registro del voto digital, paralelo al registro tradicional o, en otras palabras, sin que los votos fueran *tokenizados*. Esta prueba piloto evidenció que las votaciones resultaban más rápidas y transparentes en un escenario en el que confluían los aspectos desfavorables anteriormente mencionados: un número de accionistas superior a los 4 millones y una concentración del capital en inversores institucionales superior al 60,7% (Banco Santander, 2018).

4.1.1. La tokenización como mecanismo de votación

Pese a que sería posible la realización de la votación mediante contratos inteligentes, la creación de *tokens* para este fin ofrece una solución más versátil y sencilla que permitiría: (i) consultar toda la información acerca de la junta y relativa a la actividad de la sociedad, eliminando la asimetría de información entre el órgano de administración y los socios; (ii) votar antes o en el transcurso de la junta; (iii) delegar el derecho de voto y (iv) revocar poderes si fuera pertinente (Bednarz, 2020, p.21). Cabe mencionar que estos *tokens* no influyen en el sistema de tenencia de valores, pues la LSC por el momento no lo permite.

La sociedad emitirá y distribuirá los *tokens ad hoc* específicamente para la votación. Los accionistas recibirán tantos *tokens* como derechos de voto le correspondan y los enviará a su elección durante el periodo de votación estipulado a uno de los monederos o “wallets” que se crearán en calidad de “urna digital” (*p. ej.* Sí, No y Abstención)⁶² (Sierra, 2022, p.14). Así pues, finalizada la votación los resultados se verificarán de manera inmediata y transparente, evitando situaciones como la ocurrida con P&G en 2017⁶³.

4.2. Sistema de tenencias de acciones

Como hemos señalado con anterioridad, los *smart contracts* además de verificar las condiciones necesarias para la adopción de acuerdos podrían incluso llegar a aplicarlos de forma automática. Ahora bien, esta solución conlleva una mayor complejidad respecto a la implementación del sistema de votación, pues requeriría que todos los participantes en el sistema de tenencia de acciones desde las sociedades emisoras hasta los accionistas finales fueran nodos participantes de la plataforma Blockchain (incluyendo las entidades que median en el proceso). Aunque es cierto que la adopción de este sistema permitiría reemplazar a los intermediarios e implementar un contacto directo entre las sociedades y los accionistas de manera completamente transparente, por el momento resulta totalmente utópico que pueda llegar a darse una adopción integral de tal escala (Peinado et al., 2021).

4.3. DAOs ¿hacia una sociedad virtual?

Una Organización Autónoma Descentralizada (o DAO, por sus siglas en inglés), es una entidad virtual inscrita en Blockchain y que se rige por *smart contracts* que establecen las reglas de la organización, los activos, la propiedad y los órganos de administración (Navarro Lériada, 2018). Se caracterizan por su estructura descentralizada y su transparencia para ejecutar de forma autónoma las decisiones de sus participantes, las cuales se basan en la tenencia de *tokens* adquiridos por sus miembros y que se caracterizan por: (i) conferir derecho de voto en las diferentes propuestas que se planteen; (ii) su precio fluctúa con el tiempo; (iii) se pueden transferir finalizada la fase de creación de la DAO, es decir, alcanzado el capital requerido; (iv) son fungibles y fáciles de transferir; (v) la cantidad de *tokens* es proporcional al derecho de voto (Tihomirov Kostov, 2019, p.8).

⁶² Vid. Anexo VII.

⁶³ La empresa estadounidense se vio envuelta en la mayor batalla de poderes de la historia corporativa. Tras un arduo enfrentamiento entre Nelson Peltz y P&G con motivo de la entrada de este primero en la junta directiva y después de dos polémicas revisiones de la votación con resultados dispares, Peltz finalmente obtuvo un asiento en la junta a pesar de haber perdido oficialmente (Costa, 2017).

“The DAO,” surgida en la red Ethereum en 2016, fue la primera organización descentralizada que se fundó y nació con el objetivo de invertir en startups de forma similar a un fondo de capital riesgo. Para poder participar únicamente se requería cambiar ETH por “DAO *tokens*” los cuales representaban un derecho de voto en la toma de decisión de las diferentes propuestas planteadas por los miembros de la organización que requerían un quorum mínimo (Ercilla García, 2019). Posteriormente, su desafortunado desenlace⁶⁴ daría lugar al importante debate que hemos abordado en este trabajo sobre si los *smart contracts* pueden prescindir del Derecho bajo la puesta en práctica de la filosofía de “*From Law to Code*” o si deben operar atendiendo a una normativa que ampare su actuación, originando responsabilidad (Oulego, 2021).

De lo expuesto podemos constatar distintas similitudes que asociamos con figuras societarias de nuestro ordenamiento como cooperativas o sociedades de capital: *tokens*-acciones de una sociedad, derecho de voto-condición de socio, *smart contracts*-estatutos sociales, *token holders*-Junta General o administrador de la sociedad – figura del *curator*⁶⁵. Sin embargo, hasta la fecha no existe ninguna norma en nuestro ordenamiento que les atribuya capacidad jurídica con las dificultades que ello entraña.

Se ha planteado la posibilidad de considerar este tipo de organizaciones como sociedades civiles en virtud del art. 1665 CC, pese a ello la responsabilidad sería subsidiaria pero no limitada. Los desafíos que plantean respecto a la ley aplicable y jurisdicción abogan por la creación de una ley internacional de carácter específico, una *lex mercatoria* (Ramos Gil de la Haza, 2022). Algunos países ya han dado los primeros pasos en el reconocimiento de estas organizaciones, como Estados Unidos y su estado de Wyoming en donde desde el 2021 mediante el proyecto de ley 38 se reconoce a las DAOs como una forma legal de gobierno equivalente a una sociedad de responsabilidad limitada (Vicent, 2022).

⁶⁴ Un error de programación en el *smart contract* de “The DAO” permitía a los accionistas recuperar los fondos invertidos sin que el saldo del contrato se actualizara. El 17 de junio de 2016 un atacante se aprovechó de esta vulnerabilidad para robar más de 3,5 millones ETH (el equivalente a unos 60 millones de dólares en aquel momento). El hackeo enfrentó a la comunidad entre aquellos que defendían que la inmutabilidad de Blockchain debía respetarse y los que apoyaban la intervención humana en última instancia. Finalmente, se optó por la solución de realizar un *hard fork*, en otras palabras, realizar una bifurcación de la cadena de bloques que permitiera dismantelar “The DAO” y revertir los acontecimientos al punto inicial. Los miembros a favor de reembolsar a los inversores crearon Ethereum, mientras que aquellos que se oponían mantuvieron la cadena original, conocida como Ethereum Classic (Morrison et al., 2020).

⁶⁵ Figura designada por la propia DAO que protege los derechos de los participantes, filtrando aquellas propuestas que lleguen con el objetivo de evitar ataques maliciosos. (Tihomirov Kostov, 2019)

VI. CONCLUSIONES

En el transcurso de este trabajo ha quedado patente que la tecnología Blockchain y en concreto, los *smart contracts* plantean nuevos escenarios en diferentes sectores que con el transcurso de los años veremos en la manera en la que se consolidan. Por el momento, examinadas las ventajas e interrogantes jurídicos planteados por el potencial de esta tecnología podemos extraer las siguientes ideas:

- I. Hoy por hoy, los contratos privados convencionales adolecen diversas deficiencias que han quedado patentes en éstas páginas. Tales como: sus costes, su exposición a un eventual incumplimiento o su restringida escalabilidad.
- II. Si bien la idea de los contratos inteligentes existe desde 1994, no ha sido hasta la aparición de la tecnología de la cadena de bloques cuando se ha podido llevar a la práctica al superar las limitaciones operativas iniciales.
- III. Del análisis de los *smart contract* se ha podido comprobar que el concepto de contrato inteligente ha ido evolucionando y que, hasta la fecha, al ser una realidad que se puede contemplar desde diferentes perspectivas no existe una noción única del término. La diversidad de definiciones existentes conlleva que sea preciso examinar cada caso concreto para determinar de forma correcta su contenido, efectos y alcance.
- IV. Ante el interrogante de si los contratos inteligentes son realmente un contrato debemos entender que a pesar de que cumplan con todas las disposiciones a las que el Código Civil hace referencia sobre los contratos, éstos no se configuran como un nuevo tipo contractual, sino como una nueva forma de estructurar o exteriorizar un contrato electrónico.
- V. Con los contratos inteligentes se elimina en gran medida la posibilidad de un eventual incumplimiento, pues la ejecución automática de las prestaciones implica que la confianza se mecaniza, abriendo la puerta a una contratación segura entre personas totalmente desconocidas. Pese a ello, y al contrario de lo que en un principio se pudo creer, como hemos visto no es posible prescindir de la intervención humana y del Derecho bajo la premisa "*Code is Law*" ni en su formación, ni en su ejecución o consumación.

- VI. La lógica *booleana* que emplean los contratos inteligentes resulta un instrumento muy útil para eliminar posibles ambigüedades en la interpretación de un contrato. Sin embargo, por el momento ello conlleva que solamente sea posible su aplicación a acuerdos objetivables y, aun así, no se garantiza la ausencia de errores en el código.
- VII. Conectar la realidad *off-chain* con los contratos inteligentes con el propósito de verificar las condiciones preestablecidas en el mismo fuera de la cadena de bloques, conllevará por norma general recurrir a oráculos que comunicarán la concurrencia de los términos preestablecidos para su posterior ejecución. Esto implica tener que recurrir a terceros, por lo que será esencial su imparcialidad y fiabilidad para prevenir ejecuciones equivocadas.
- VIII. La aplicación de los *smart contracts* a las relaciones contractuales ha dejado de manifiesto la existencia de diversos desafíos jurídicos a lo largo de sus diferentes etapas, que será necesario resolver en un futuro antes de una posible adopción generalizada. Entre ellos hemos podido advertir: las dificultades para identificar a las partes y su capacidad de obrar, la incertidumbre que plantean acerca de la ley aplicable o el cumplimiento de las disposiciones del RGPD.
- IX. Las propias ventajas de la tecnología Blockchain en ocasiones pueden llegar a convertirse también en debilidades. Nos referimos en concreto a la elevada rigidez que presentan los contratos inteligentes dada su inmutabilidad, los cuales una vez “llamados” su ejecución escapa del control de las partes que no podrán detenerlo, así como tampoco podrán modificarlos ante un cambio sustancial de las circunstancias.
- X. Aunque el estado actual de la técnica puede presentar limitaciones dada su etapa incipiente de desarrollo, la tecnología Blockchain y los *smart contracts* son una realidad viva que, como hemos analizado, ofrece numerosas funcionalidades prácticas y resuelven diversos problemas presentes en la actualidad en el Derecho y en concreto en el Derecho Mercantil. No obstante, por el momento su adopción parece reservada a grandes empresas y bufetes, pues su empleo requiere de un conocimiento especializado que implicará recurrir a los servicios de programadores incrementar los costes derivados de la elaboración de acuerdos.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Adsuara Varela, B. (2020). Protección de datos y Blockchain. In I. Sánchez Ruiz de Valdivia (Ed.), *Blockchain: Impacto en los sistemas financiero notarial registral y judicial* (pp. 801–828). Navarra: Editorial Aranzadi.
- Alchemy. (2022, 9 de Marzo). *What is an ABI of a Smart Contract? Examples and Usage*. Disponible en: <https://www.alchemy.com/overviews/what-is-an-abi-of-a-smart-contract-examples-and-usage>
- Anguiano, J. M. (2018). “Smart Contracts”. Introducción al “contractware.” *“Innovación & Tendencias - Sector Legal” de Wolters Kluwer*. Disponible en: https://www.garrigues.com/es_ES/noticia/smart-contracts-introduccion-al-contractware
- Aparicio Bijuesca, M. B. (2018). *Smart contracts: Is the Law Ready? Chamber of Digital Commerce*.
- Arruñada, B. (2020). Limitaciones de “blockchain” en contratos y propiedad. In I. Sánchez Ruiz de Valdivia (Ed.), *Blockchain: impacto en los sistemas financiero, notarial, registral y judicial* (pp. 249–280). Navarra: Aranzadi.
- ATH21. (2023, 22 de Marzo). *Data Act y Smart Contracts, bajo regulación europea*. Disponible en: <https://ath21.com/data-act-smart-contracts/>
- Banco Santander. (2018). Santander y Broadridge utilizan por primera vez tecnología blockchain para votar en una junta general de accionistas. In Nota de prensa. Madrid. Disponible en: www.broadridge.com.
- Bednarz, Z. (2020). El uso de la tecnología blockchain en las sociedades cotizadas: la implicación de los accionistas. *Revista de Derecho de Sociedades, ISSN 1134-7686, N° 58, 2020, 58, 5*. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7332442&info=resumen&idioma=ENG>
- Bellamy, J., & Hill, C. (2016). Can the Blockchain Make Our Contracts Smarter? *Cyberspace Lawyer NL*, 2, 6–12.

- Binance. (2022). ¿Qué es el trilema de la blockchain? *Binance Academy*. Disponible en: <https://academy.binance.com/es/articles/what-is-the-blockchain-trilemma>
- Bit2Me Academy. (2021, 3 de Marzo). ¿Qué es un token NFT? Disponible en: <https://academy.bit2me.com/que-es-token-nft/#>
- Bit2Me Academy. (2023, 15 de Febrero). ¿Qué es un hash? Disponible en: <https://academy.bit2me.com/que-es-hash/>
- Bourque, S., & Tsui, S. F. L. (2014). A Lawyer's Introduction to Smart Contract. *Scientia Nobilitat Reviewed Legal Studies*, 201(4), 4–23.
- Bravo, C. P. (2009). La stipulatio. Características generales. *Ars Boni et Aequi*, 5, 137–156.
- Buterin, V. (2014). *Ethereum whitepaper. A next generation smart contract & decentralized application platform*.
- Cai, W., Wang, Z., Ernst, J. B., Hong, Z., Feng, C., & Leung, V. C. M. (2018). Decentralized Applications: The Blockchain-Empowered Software System. *IEEE Access*, 6. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8466786>
- Calboli, I. (2022). Legal Perspectives on the Streaming Industry: The United States. *The American Journal of Comparative Law*, 70, 220–245. doi: 10.1093/ajcl/avac021
- Carrasco Perera, Á. (2021). *Derecho de contratos*. Pamplona: Thomson Reuters Aranzadi.
- Carrascosa, C. (2021). PR 7.- Algorand. *Legal by Design*. Disponible en: <https://criscarrascosa.substack.com/p/pr-7-algorand>
- Castillo, P. C. (2022). El uso de la tecnología Blockchain en la ejecución de los contratos. In E. Valpuesta Gastaminza & J. C. Hernández Peña (Eds.), *Blockchain: aspectos jurídicos de su utilización* (pp. 181–204). Las Rozas (Madrid): La Ley.

- Cediel Serra, A. M., & Molina Balaguer, F. (2020). Transmisión de los bienes tokenizados, análisis registral y tributario. In I. Sánchez Ruiz de Valdivia (Ed.), *Blockchain: Impacto en los sistemas financiero, notarial, registral y judicial* (pp. 829–870). Navarra: Aranzadi.
- Citi GPS. (2018). *Putting the Band Back Together: Remastering the World of Music*. Disponible en: <https://ir.citi.com/NhxmHW7xb0tkWiqOOG0NuPDM3pVGJpVzXMw7n%2BZg4AfFFX%2BeFqDYNfND%2B0hUxxXA>
- Coderch, P. S. (2018). Contratos inteligentes y derecho del contrato. *Indret. Revista Para El Análisis Del Derecho*.
- Coinbase. (2022, 15 de Septiembre). *La Fusión de Ethereum (ETH) por fin ha llegado. ¿Qué es lo siguiente?* Disponible en: <https://www.coinbase.com/es/ethereum-merge>
- Comelles, C. A. (2020). Smart contracts or Code is Law: legal remedies for contractual robotization. *InDret*, 2, 1–41. doi: 10.31009/InDret.2020.i2.01
- Corrales Compagnucci, M., Fenwick, M., & Wrba, S. (2021). *Smart Contracts: Technological, Business and Legal Perspectives*. Hart Publishing.
- Costa, C. (2017, 18 de Diciembre). *P&G appoints Peltz to board despite losing proxy battle*. CNBC. Disponible en: <https://www.cnbc.com/2017/12/18/pg-appoints-peltz-to-board-despite-losing-proxy-battle.html>
- Cuccuru, P. (2017). Beyond bitcoin: an early overview on smart contracts. *International Journal of Law and Information Technology*, 25(3), 179–195. doi: 10.1093/ijlit/eax003
- Delgado de Molina Rius, A. (2020). Blockchain: Concepto, funcionamiento y aplicaciones. In *Fintech, Regtech y Legaltech: Fundamentos y desafíos regulatorios* (pp. 31–62). Valencia: Tirant Lo Blanch.
- Delgado De Molina Rius, A., & García Gil, V. (2020). Los contratos inteligentes o smart contracts. In *Fintech, Regtech and Legaltech: Fundamentos y desafíos regulatorios*. Valencia: Tirant Lo Blanch. Disponible en: <https://ebooks.tirant.com/cloudLibrary/ebook/show/9788413363219>

- Díez-Picazo, L. (2008). *Fundamentos del derecho civil patrimonial. Vol. 2, Las relaciones obligatorias*. Madrid: Thomson Civitas.
- Durovic, M., & Janssen, A. (2019). The Formation of Smart Contracts and Beyond: Shaking the Fundamentals of Contract Law? *Smart Contracts and Blockchain Technology: Role of Contract Law*. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/327732779>
- Echebarría Sáenz, M. (2017). Contratos electrónicos autoejecutables (smart contract) y pagos con tecnología blockchain. *Revista de Estudios Europeos, ISSN 1132-7170, ISSN-e 2530-9854, N.º. 70, 2017 (Ejemplar Dedicado a: Economía Colaborativa), Págs. 69-97, 70, 69-97*. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6258551&info=resumen&idioma=ENG>
- Eenmaa-Dimitrieva, H., & Schmidt-Kessen, M. J. (2019). Creating markets in no-trust environments: The law and economics of smart contracts. *Computer Law and Security Review, 35(1)*, 69–88. doi: 10.1016/j.clsr.2018.09.003
- El Referente. (2023). *Acumulado de inversión anual en startups*. Disponible en: <https://elreferente.es/inversiones/inversion-startups-anual/>
- Ercilla García, J. (2019). Aproximación Jurídica a las Organizaciones Autónomas Descentralizadas (DAOs). *Revista Aranzadi de Derecho y Nuevas Tecnologías, 51*. Disponible en: <https://github.com/ethereum/wiki/wiki/White-Paper>
- ESMA. (2016). *The Distributed Ledger Technology Applied to Securities Markets*.
- ETN-Network. (2023, 3 de Agosto). *How could blockchain technology and smart contracts impact the \$1 trillion IoT market?* Disponible en: <https://medium.com/@ETN-Network/how-could-blockchain-technology-and-smart-contracts-impact-the-1-trillion-iot-market-8a78a6980219>
- European Commission. (2020). *The European Union Blockchain Observatory and Forum 2018-2020: Conclusions and Reflections*.

- Feliu Rey, J. (2018). Smart Contract: concepto, ecosistema y principales cuestiones de Derecho privado. *La Ley Mercantil*, 47. Disponible en: <https://ssrn.com/abstract=3247775>
- Fetsyak, I. (2020). Contratos inteligentes: análisis jurídico desde el marco legal español. *Revista Electrónica de Derecho de La Universidad de La Rioja (REDUR)*, 18, 197–236. doi: 10.18172/redur.4898
- Fornell, J. (2019, 12 de Diciembre). *¿Qué es timestamp en Blockchain?* Bit2Me Academy. Disponible en: <https://academy.bit2me.com/timestamp-blockchain/>
- García Mexía, P. (2018). Del ciberderecho al criptoderecho. La criptoregulación. In P. García Mexía, B. Aranda Briones, & F. Alcaide Soler (Eds.), *Criptoderecho: la regulación de Blockchain* (pp. 75–140). Las Rozas (Madrid): Wolters Kluwer.
- Garg, D. (2023, 15 de Enero). *Blockchain Disrupting the Music Business: A Look at How.* UX Planet. Disponible en: <https://uxplanet.org/blockchain-disrupting-the-music-business-a-look-at-how-d823b7e13cd8>
- Gatteschi, V., Lamberti, F., Demartini, C., Pranteda, C., & Santamaría, V. (2018). Blockchain and Smart Contracts for Insurance: Is the Technology Mature Enough? *Future Internet*, 10(2). doi: 10.3390/fi10020020
- Gendron, W. (2023, 24 de Abril). *Grimes: I'll Split Royalties With AI-Generated Music Using My Voice.* Business Insider. Disponible en: <https://www.businessinsider.com/grimes-split-royalties-with-ai-generated-music-using-her-voice-2023-4>
- González-Meneses, M. (2019). *Entender blockchain. Una introducción a la tecnología de registro distribuido.* Navarra: Aranzadi.
- González-Meneses, M. (2020). "Smart contracts": ¿hacia una economía sin derecho contractual? *Aranzadi Digital*, 1, 57–87.
- Grossman, S. J., & Hart, O. D. (1986). The Costs and Benefits of Ownership: A Theory of Vertical and Lateral Integration. In Source: *Journal of Political Economy* (Vol. 94, Issue 4). Disponible en: <https://about.jstor.org/terms>

- Gupta, A. (2020, 20 de Julio). *Blockchain gives power back to musicians*. IBM Blog. Disponible en: <https://www.ibm.com/blog/blockchain-gives-power-back-to-musicians/>
- Ibáñez Jiménez, J. W. (2018). *Blockchain: Primeras cuestiones en el ordenamiento español*. Madrid: Dykinson.
- Ibáñez Jiménez, J. W. (2018b). *Derecho de Blockchain y de la tecnología de registros distribuidos*. Navarra: Aranzadi.
- ILLESCAS ORTIZ, R. (2010). Cumplimiento de los requisitos documentales del contrato de seguro celebrado por medios electrónico. In *Derecho del sistema financiero y tecnología* (pp. 387–396). Madrid: Marcial Pons.
- Ishaili, P. C. (2022, 19 de Diciembre). *Introduction to Solidity*. Disponible en: <https://dev.to/mrpaulishaili/introduction-to-solidity-26h3>
- Jiménez, J. W. I. (2018). Smart contract y notariado español. *La Ley Mercantil*, 48.
- Jiménez Linares, M. J. (2020). De los contratos inteligentes (smart contracts) a los contratos legales inteligentes: problemática técnico-jurídica. El contrato Blockchain. In I. Sánchez Ruiz de Valdivia (Ed.), *Blockchain: Impacto en los sistemas financiero, notarial, registral y judicial* (pp. 325–359). Navarra: Aranzadi.
- Lacruz Berdejo, J. L. (2011). *Elementos de Derecho Civil. Tomo II. Derecho de Obligaciones. Volumen I. Parte General. Teoría General del Contrato*. Madrid: Dykinson.
- Lauslahti, K., Mattila, J., & Seppälä, T. (2017). Smart Contracts-How will Blockchain Technology Affect Contractual Practices? *ETLA Reports*, 68. Disponible en: <https://ssrn.com/abstract=3154043>Electroniccopyavailableat:<https://ssrn.com/abstract=3154043>
- Legerén-Molina, A. (2018). Los contratos inteligentes en España (La disciplina de los smart contracts). *Revista de Derecho Civil*, 5(2), 193–241. Disponible en: <http://nreg.es/ojs/index.php/>

- Legerén-Molina, A. (2020). Smart contracts que se ejecutan en “blockchain.” In I. Sánchez Ruiz de Valdivia (Ed.), *Blockchain: Impacto en los sistemas financiero, notarial, registral y judicial* (pp. 281–324). Navarra: Aranzadi.
- López Sánchez, M. Á. (2021). Smart contracts. In E. María Valpuesta Gastaminza & J. C. Hernández Peña (Eds.), *Tratado de Derecho Digital* (pp. 521–544). Madrid: Wolters Kluwer.
- Maldonado, J. (2019, 7 de Noviembre). *¿Qué es el doble gasto?* Bit2Me Academy. Disponible en: <https://academy.bit2me.com/que-es-doble-gasto/#>
- Malik, N., Wei, Y. “Max,” Appel, G., & Luo, L. (2023). Blockchain technology for creative industries: Current state and research opportunities. *International Journal of Research in Marketing*, 40(1), 38–48. doi: 10.1016/j.ijresmar.2022.07.004
- Martínez, M. C. (2019). Aproximación a la protección del consumidor en los nuevos contratos inteligentes o smart contracts. *Actualidad Civil*, 6(2).
- Martínez Sierra, J. M., & Coloma López, J. C. (2022). How Blockchains and Smart Contracts have Changed. How we Do Business: Legal Perspectives. In J. M. Martínez Sierra (Ed.), *Blockchain, Fintech and the Law* (pp. 21–102). Valencia: Tirant lo Blanch.
- Meunier, S. (2016, 29 de Diciembre). *Blockchain technology - a very special kind of Distributed Database*. Disponible en: <https://medium.com/@sbmeunier/blockchain-technology-a-very-special-kind-of-distributed-database-e63d00781118>
- Momtaz, P. P., Rennertseder, K., & Schröder, H. (2019). Token Offerings: A Revolution in Corporate Finance? *SSRN Electronic Journal*. doi: 10.2139/SSRN.3346964
- Monsalve, S. (2003). John Nash y la teoría de juegos. *Lecturas Matemáticas*, 24(2), 137–149.
- Mora Astaburuaga, A. (2021). *Smart contracts. Reflexiones sobre su concepto, naturaleza y problemática en el derecho contractual smart contracts. Reflections on its concept, nature and problems in contract law* (Vol. 27). Disponible en: <http://www.bbc.com/mundo/noticias-37631834>

- Morrison, R., Mazey, N. C. H. L., & Wingreen, S. C. (2020). The DAO Controversy: The Case for a New Species of Corporate Governance? *Frontiers in Blockchain*, 3. doi: 10.3389/fbloc.2020.00025
- Music Business Worldwide. (2022, 12 de Abril). *Yes, Blockchain might well revolutionise music royalties. No, it's not going to happen anytime soon*. Disponible en: <https://www.musicbusinessworldwide.com/yes-blockchain-might-revolutionise-music-royalties-no-its-not-going-to-happen-anytime-soon/>
- Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*. Disponible en: www.bitcoin.org
- Navarro de Andrés, S. (2018). Contratos Inteligentes. En especial, su implantación práctica en negocios blockchain. In P. García Mexía, B. Aranda Briones, & F. Alcaide Soler (Eds.), *Criptoderecho. La regulación de blockchain* (pp. 317–362). Madrid: Wolters Kluwer.
- Navarro Lérica, M. S. (2018). Gobierno corporativo, blockchain y smart contracts. Digitalización de las empresas y nuevos modelos descentralizados (DAOS). *Revista de Derecho Del Mercado de Valores*, 23. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6737612>
- Norta, A., Vedeshin, A., Rand, H., Tobies, S., Rull, A., Poola, M., & Rull, T. (2017). *Self-Aware Agent-Supported Contract Management on Blockchains for Legal Accountability*. Disponible en: http://whitepaper.agrello.org/Agrello_Self-Aware_Whitepaper.pdf
- Noval Pato, J. (2022). Sociedades mercantiles y digitalización de la actuación de los órganos. In E. Valpuesta Gastaminza & J. C. Hernández Peña (Eds.), *Blockchain: aspectos jurídicos de su utilización* (pp. 205–238). Las Rozas (Madrid): La Ley.
- O'Callaghan Muñoz, X. (2012). *Cumplimiento e incumplimiento del contrato*. Madrid: Editorial Universitaria Ramón Areces.
- Orozco González, M. (2012). Las descargas ilegales y las plataformas P2P. *Revista Luso-Brasileira de Direito Do Consumo-Vol. Ii/*.

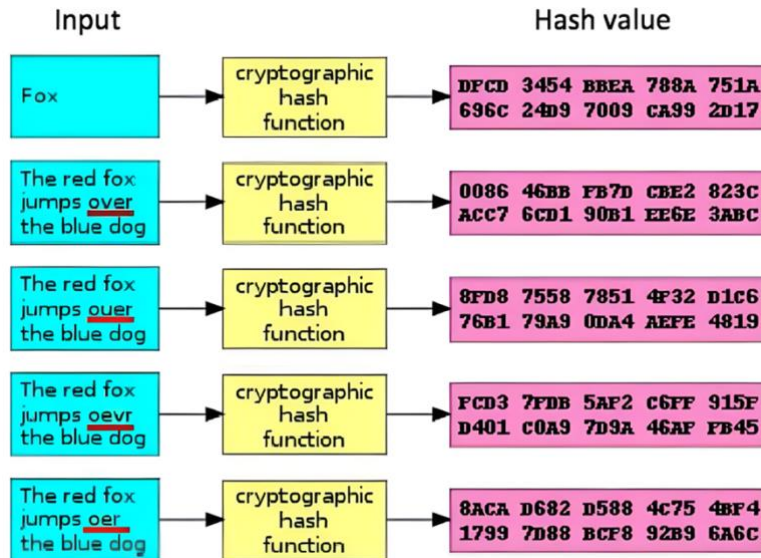
- Ortega, A., & Puertas, O. (2018, 16 de Julio). *Blockchain, admitido como medio de prueba en juicio en China*. Lexology. Disponible en: <https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=4467f458-af0f-4c80-b685-32cd22a89aec>
- Ortega Giménez, A. (2018). *“Smart contracts” y derecho Internacional privado*. Navarra: Aranzadi.
- O’Shields, R. (2017). Smart contracts: Legal agreements for the blockchain. *NC Banking Inst.*, 21.
- Oulego, J. R. (2021, 10 de Diciembre). *DAO: Naturaleza e Implicaciones Jurídicas*. A Definitivas. Disponible en: <https://adefinitivas.com/arbol-del-derecho/dao-naturaleza-e-implicaciones-juridicas-a-cargo-de-jose-ramon-oulego/>
- Peinado, J. I. G., & Bednarz, Z. (2021). Cuestionando las bondades de la «blockchain» en las juntas generales. *Revista de Derecho de Sociedades*, 61.
- Philippe, D. (2018). *Blockchain and Smart Contract: Lex Cryptographia?* Disponible en: https://www.eublockchainforum.eu/sites/default/files/reports/20180727_report_innovation_in_europe_1
- Preukschat, A. (2017). *Blockchain: La Revolución Industrial de Internet*. Barcelona: Gestión 2000.
- R3 | *Leader in the Digitization of Financial Services*. (2023.). Disponible en: <https://r3.com/>
- Ramos Gil de la Haza, A. (2022). La web3: una aproximación jurídica. *Revista Jurídica Pérez-Llorca*, 8.
- Reyna, A., Martín, C., Chen, J., Soler, E., & Díaz, M. (2018). On blockchain and its integration with IoT. Challenges and opportunities. *Future Generation Computer Systems*, 88, 173–190. doi: 10.1016/j.future.2018.05.046
- Ruiz-Gallardón, M. (2020). *Tokenización de activos y blockchain. Aspectos Jurídicos*.

- Savelyev, A. (2017). Contract law 2.0: 'Smart' contracts as the beginning of the end of classic contract law. *Information & Communications Technology Law*, 26(2), 116–134. doi: 10.1080/13600834.2017.1301036
- Seang, S., & Torre, D. (2018). *Proof of Work and Proof of Stake consensus protocols: a blockchain application for local complementary currencies*.
- Serra Rodríguez, A. (2021). *Los smart contracts en el derecho contractual*. Disponible en: <https://derechomercantiles pana.blogspot.com/2016/10/contratos-inteligentes-ii.html%23more>
- Sierra, M. (2022). *La tecnología Blockchain como vía hacia la digitalización societaria sostenible: propuesta de diseño de contratos inteligentes y tokenización para impulsar la sostenibilidad y el gobierno corporativo digitalizado*.
- Sklaroff, J. M. (2018). Smart Contracts and the Cost of Inflexibility. *Prize Winning Papers*, 9, 265–303. Disponible en: https://scholarship.law.upenn.edu/prize_papers
- Solanas, T. B. (2019). Régimen jurídico y problemática de los contratos inteligentes. *Revista CEF Legal*, 227, 5–38.
- Stark, J. (2016, June 4). *Making Sense of Blockchain Smart Contracts*. Disponible en: <https://www.coindesk.com/markets/2016/06/04/making-sense-of-blockchain-smart-contracts/>
- Stazi, A. (2019). *Automazione contrattuale e contratti intelligenti: gli "smart contracts" nel diritto comparato*. Torino: Giappichelli.
- Szabo, N. (1996). Smart Contracts: Building Blocks for Digital Markets. *EXTROPY: The Journal of Transhumanist Thought*, (16), 18(2). Disponible en: http://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/InformationInSpeech/CDROM/Literature/LOTwinterschool2006/szabo.best.vwh.net/smart_contracts_2.html
- Tihomirov Kostov, S. (2019). El curator de las DAO como figura alternativa al administrador tradicional en las sociedades de capital. *Documentos de Trabajo. Seminario Permanente de Ciencias Sociales*, 14, 6. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8370007>

- Touriño, A., Villasante, C., & Arnaiz, J. (2022). *Blockchain y Smart Contracts*. Madrid: Francis Lefebvre.
- Tur Faúndez, C. (2018). *Smart Contracts. Análisis jurídico*. Madrid: Editorial Reus.
- Valpuesta Gastaminza, E. (2022). El blockchain en su laberinto blockchain públicas vs. blockchain privadas, he ahí la cuestión. In J. C. Hernández Peña (Ed.), *Blockchain: aspectos jurídicos de su utilización* (pp. 29–63). Las Rozas (Madrid): La Ley.
- Van Valkenburgh, P. (2017, 25 de Abril). *What's a blockchain, anyway?* Disponible en: <https://www.coincenter.org/education/blockchain-101/whats-a-blockchain/>
- Vicent, J. (2022, 8 de Abril). *¿Qué diferencias hay entre una DAO y una SL?* Bit2Me News. Disponible en: <https://news.bit2me.com/que-diferencias-hay-entre-una-dao-y-una-sl/>
- Vilalta, A. E. (2019). *Smart legal contracts y blockchain*. Madrid: Wolters Kluwer.
- Vilarroig Moya, R., & Pastor Sempere, C. (2018). *Blockchain: aspectos tecnológicos empresariales y legales*. Navarra: Aranzadi.
- Wang, Q., Li, R., Wang, Q., & Chen, S. (2021). *Non-Fungible Token (NFT): Overview, Evaluation, Opportunities and Challenges (Tech Report V2)*.
- Werbach, K. (2018). *The blockchain and the new architecture of trust*. Mit Press.
- Werbach, K., & Cornell, N. (2017). Contracts ex machina. *Duke Law Journal*, 67, 313–382.
- Wohrer, M., & Zdun, U. (2018). Smart contracts: security patterns in the Ethereum ecosystem and solidity. *2018 International Workshop on Blockchain Oriented Software Engineering (IWBOSE)*, 2–8. doi: 10.1109/IWBOSE.2018.8327565
- York, H. D., McMillan, M., & Wong, K. (2016). Blockchain and Smart Contracts: The dawn of the Internet of Finance? *Communications Law Bulletin*, 35. Disponible en: <http://classic.austlii.edu.au/au/journals/CommsLawB/2016/26.pdf>
- Zhu, N. (2018, 25 de Julio). *Ethernaut Lvl 0 Walkthrough: ABIs, Web3, and how to abuse them*. HackerNoon. Disponible en: <https://hackernoon.com/ethernaut-lvl-0-walkthrough-abis-web3-and-how-to-abuse-them-d92a8842d71b>

VIII. ANEXOS

Anexo I. Representación gráfica del proceso criptográfico de Blockchain, con variaciones de *inputs* y su correspondiente resultado en forma de *hash*



Fuente: Valpuesta Gastaminza, E. (2022). El blockchain en su laberinto blockchain públicas vs. blockchain privadas, he ahí la cuestión. In J. C. Hernández Peña (Ed.), Blockchain: aspectos jurídicos de su utilización (pp. 29–63). Las Rozas (Madrid): La Ley. (p.41)

Anexo II. Ejemplo básico de *smart contract* escrito en Solidity que permite a los usuarios depositar fondos y comprobar su balance

```

1  pragma solidity ^0.4.17;
2  contract SimpleDeposit {
3      mapping (address => uint) balances;
4
5      event LogDepositMade(address from, uint amount);
6
7      modifier minAmount(uint amount) {
8          require(msg.value >= amount);
9          _;
10     }
11
12     function SimpleDeposit() public payable {
13         balances[msg.sender] = msg.value;
14     }
15
16     function deposit() public payable minAmount(1 ether)
17     {
18         balances[msg.sender] += msg.value;
19         LogDepositMade(msg.sender, msg.value);
20     }
21
22     function getBalance() public view returns (uint
23         balance) {
24         return balances[msg.sender];
25     }
26
27     function withdraw(uint amount) public {
28         if (balances[msg.sender] >= amount) {
29             balances[msg.sender] -= amount;
30             msg.sender.transfer(amount);
31         }
32     }
33 }

```

La secuencia de código consta de 31 líneas:

- (1) En primer lugar, se indica la versión del lenguaje de programación utilizado.
- (2) Seguidamente, se fija el nombre que recibe el contrato.
- (3) La estructura de datos declarada por medio de la variable “mapping” permite almacenar los saldos depositados en cada dirección.
- (5) Se define el evento llamado “LogDepositMade” que se emitirá cada vez que se realice un depósito de forma exitosa. En él se incluyen los parámetros de la dirección desde la que

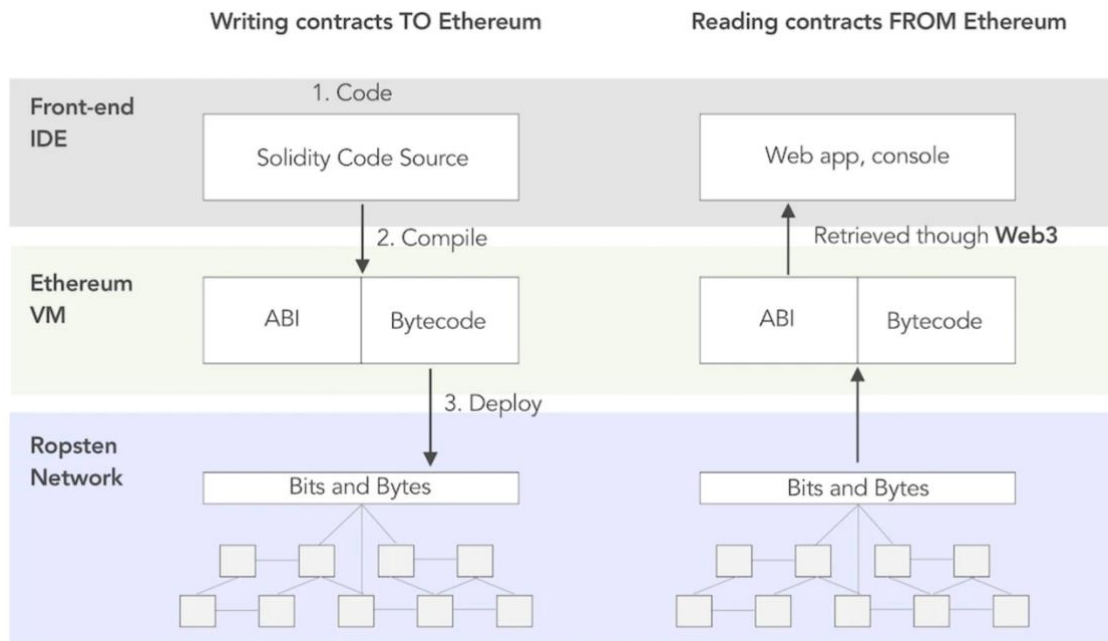
se realiza el depósito “from” y la cantidad depositada “amount”.

- (7) Un requisito mínimo para el depósito se especifica mediante un modificador, cuya cantidad se fija en la línea (8) con el parámetro “amount”. Si el valor enviado (*msg.value*) no es igual o mayor de la cantidad fijada, la transacción se revertirá.
- (12) Mediante el constructor “SimpleDeposit” se establece una función especial que constituye uno de los núcleos del contrato y una parte esencial para que éste funcione correctamente al desplegarse en la cadena de bloques. Este constructor cuenta con ciertas particularidades:
- Se le atribuye la condición pública (*public*) para que el contrato pueda ser “llamado”.
 - Se incluye el modificador (*payable*) que faculta al contrato a recibir Ether, el cual será enviado para su almacenamiento en el depósito “balances”.
 - Se registra la dirección del remitente (*msg.sender*) con el correspondiente depósito de Ether (*msg.value*) de manera que en el primer envío que se realice quedará registrada la dirección con un saldo inicial (13).
- (16) La función “deposit” habilita a los usuarios el depósito de cómo mínimo 1 ETH, tal y como se establece mediante el modificador “minAmount (1 ether)”. El valor de la transacción se enviará al saldo del remitente “balances” haciendo uso de los parámetros de su dirección (*msg.sender*) y de la cantidad enviada (*msg.value*). Por último, el evento “LogDepositMade” (18) dotará a la transacción de la transparencia que caracteriza a las cadenas de bloques, de manera que cualquier persona interesada podrá verificar y rastrear la dirección que ha realizado la transacción y la cantidad depositada.
- (21) Para poder establecer una manera de consultar el saldo que una persona ha depositado en el contrato se emplea la función “getBalance”. Como se puede apreciar tiene la condición de pública y además lleva añadida el modificador (*view*) para limitar que la información solo pueda ser consultada. La función “returns (*uint balance*)” devolverá el saldo de ETH depositado por la dirección (*msg.sender*) tras consultarlo en su balance “balances(*msg.sender*)” (22).
- (25) La última parte del contrato configura la posibilidad de hacer retiros mediante la función “withdraw” que acepta un parámetro “amount” del tipo (*uint*) para indicar la cantidad que se desea retirar. Antes de efectuar el retiro, se procede a comprobar que existe saldo suficiente. Si el saldo es igual o mayor al requerido, la condición se cumple y la función continúa:
- Se disminuye el saldo de la persona en la cantidad especificada: “balances(*msg.sender*) -= “amount” y se transfiere mediante la función “transfer” a su dirección (*msg.sender*).

Si el saldo no es suficiente, la transacción se detiene y se revierte.

Fuente: Wohrer, M., & Zdun, U. (2018). Smart contracts: security patterns in the Ethereum ecosystem and solidity. *2018 International Workshop on Blockchain Oriented Software Engineering (IWBOSE)*, 2–8. doi: 10.1109/IWBOSE.2018.8327565

Anexo III. Ilustración de la compilación y ejecución de los contratos inteligentes en la Máquina Virtual Ethereum (EVM)



Fuente: Zhu, N. (2018, July 25). *Ethernaut Lvl 0 Walkthrough: ABIs, Web3, and how to abuse them*. HackerNoon. Disponible en: <https://hackernoon.com/ethernaut-lvl-0-walkthrough-abis-web3-and-how-to-abuse-them-d92a8842d71b>

Anexo IV. Tipos de interacción entre dispositivos IoT y Blockchain

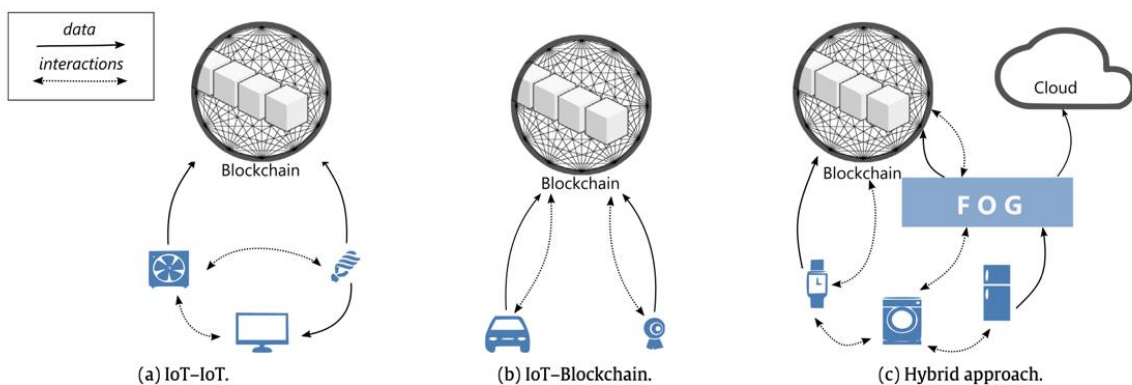
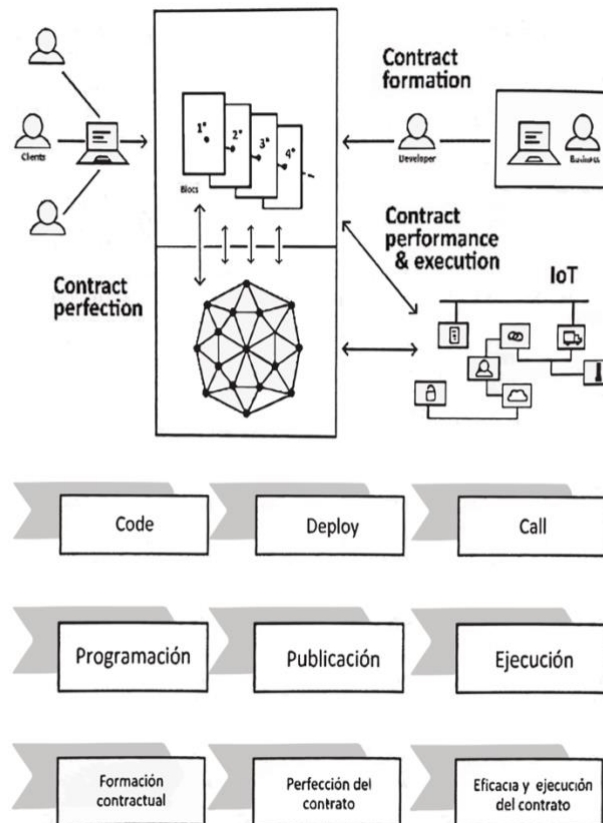


Fig. 1. Blockchain IoT interactions.

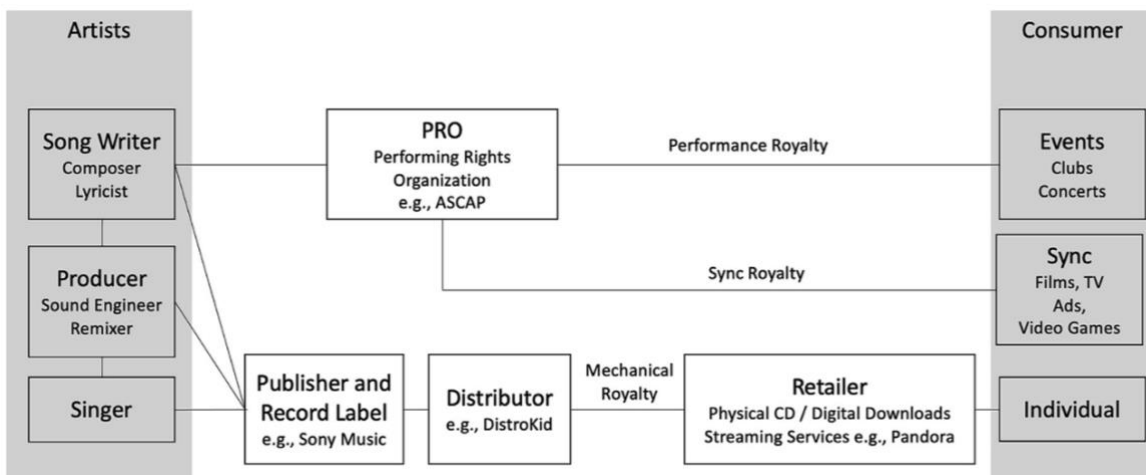
Fuente: Reyna, A., Martín, C., Chen, J., Soler, E., & Díaz, M. (2018). On blockchain and its integration with IoT. Challenges and opportunities. *Future Generation Computer Systems*, 88, 173–190. doi: 10.1016/j.future.2018.05.046

Anexo III. Ciclo de vida de un smart contract



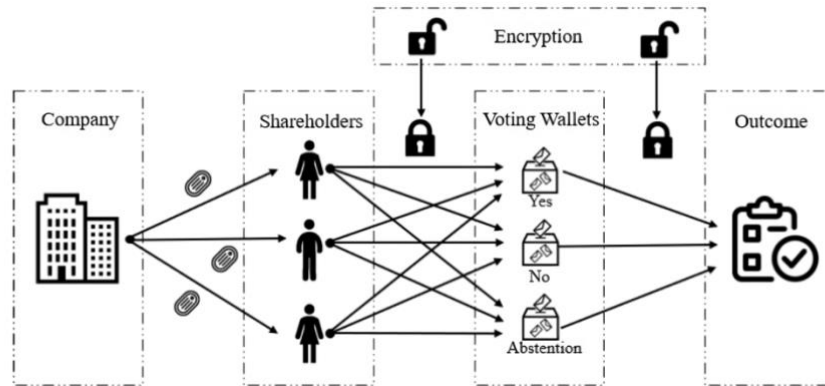
Fuente Estradé, M. A. en Vilalta, A. E. (2019). *Smart legal contracts y blockchain*. Madrid: Wolters Kluwer.

Anexo VI. Escenario actual de la industria musical



Fuente: Malik, N., Wei, Y. “Max,” Appel, G., & Luo, L. (2023). Blockchain technology for creative industries: Current state and research opportunities. *International Journal of Research in Marketing*, 40(1), 38–48. doi: 10.1016/j.ijresmar.2022.07.004

Anexo VII. Estructura de un sistema de votación dirigido a una Junta General mediante el uso de *tokens* y la aplicación de tecnología Blockchain.



Fuente: Sierra, M. (2022). *La tecnología Blockchain como vía hacia la digitalización societaria sostenible: propuesta de diseño de contratos inteligentes y tokenización para impulsar la sostenibilidad y el gobierno corporativo digitalizado*. doi: 10.5281/ZENODO.7468191

Anexo VIII. Normativa citada.

Directiva (UE) 2017/828 del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 de mayo de 2017 por la que se modifica la Directiva 2007/36/CE en lo que respecta al fomento de la implicación a largo plazo de los accionistas.

Directiva (UE) 2019/1151 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de junio de 2019, por la que se modifica la Directiva (UE) 2017/1132 en lo que respecta a la utilización de herramientas y procesos digitales en el ámbito del Derecho de sociedades.

Ley 34/2002, de 11 de julio, de servicios de la sociedad de la información y de comercio electrónico.

Ley 6/2020, de 11 de noviembre, reguladora de determinados aspectos de los servicios electrónicos de confianza.

Ley 7/1996, de 15 de enero, de Ordenación del Comercio Minorista.

Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales.

Propuesta de Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo sobre normas armonizadas para un acceso justo a los datos y su utilización (Ley de Datos).

Real Decreto de 24 de julio de 1889 por el que se publica el Código Civil.

Real Decreto Legislativo 1/2007, de 16 de noviembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley General para la Defensa de los Consumidores y Usuarios y otras leyes complementarias.

Real Decreto Legislativo 1/2010, de 2 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Sociedades de Capital.

Reglamento (CE) n° 261/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de febrero de 2004, por el que se establecen normas comunes sobre compensación y asistencia a los pasajeros aéreos en caso de denegación de embarque y de cancelación o gran retraso de los vuelos, y se deroga el Reglamento (CEE) n° 295/91.

Reglamento (CE) No 593/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 de junio de 2008 sobre la ley aplicable a las obligaciones contractuales (Roma I).

Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de abril de 2016 relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos y por el que se deroga la Directiva 95/46/CE (Reglamento general de protección de datos).

Reglamento (UE) No 1215/2012 del Parlamento Europeo y del Consejo de 12 de diciembre de 2012 relativo a la competencia judicial, el reconocimiento y la ejecución de resoluciones judiciales en materia civil y mercantil.

Reglamento (UE) No 910/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de julio de 2014 relativo a la identificación electrónica y los servicios de confianza para las transacciones electrónicas en el mercado interior y por la que se deroga la Directiva 1999/93/CE (Reglamento eIDAS).

Reglamento de Ejecución (UE) 2018/1212 de la Comisión, de 3 de septiembre de 2018, por el que se establecen requisitos mínimos de ejecución de las disposiciones de la Directiva 2007/36/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, en lo relativo a la identificación de los accionistas, la transmisión de información y la facilitación del ejercicio de los derechos de los accionistas.

Wyoming Decentralized Autonomous Organizations Act.