

Cómo citar este texto:

Rodríguez Abril, R. (2020). Propuesta de un nuevo modelo de Registro de la Propiedad basado en tecnología blockchain. *Derecom*, 28, 65-94. <http://www.derecom.com/derecom/>

**PROPUESTA DE UN NUEVO MODELO DE
REGISTRO DE PROPIEDAD BASADO EN
TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN**

**A PROPOSAL OF A NEW PATTERN FOR
A LAND REGISTRY BASED ON
BLOCKCHAIN TECHNOLOGY**

©Rubén Rodríguez Abril
Universidad de Sevilla (España)
r_r_abril@hotmail.com

Resumen

En este trabajo el autor propone la implementación de un nuevo modelo de Registro de la Propiedad que funcionaría exclusivamente mediante procedimientos automáticos de naturaleza algorítmica, y sin necesidad de ningún tipo de intervención humana. El sistema propuesto requiere la existencia de un sistema contractual de naturaleza abstracta y de un ordenamiento jurídico-real basado en el *numerus clausus*. La implementación de este sistema tendría lugar dentro de una *blockchain* privada regida por el protocolo Ethereum, o una versión modificada del mismo.

Summary

In this paper the author proposes the implementation of a new model of Land Registry, which would run through automatic procedures of algorithmic character exclusively, and without any kind of human intervention. The system requires a property law based on an exhaustive list of rights *in rem* (*numerus clausus*) and an abstract system of title transfer, like the German one. The system would be implemented within a private blockchain governed by the Ethereum protocol, or a modified version of the same.

Palabras clave: Registro. Propiedad. Ethereum. Blockchain. Algoritmos.

Keywords: Land. Registry. Ethereum. Blockchain. Algorithms.

1.Introducción

La propiedad y los demás derechos reales sobre los bienes son derechos patrimoniales, valorables en dinero, que se caracterizan por dos notas principales: su *inmediatez* y su *carácter absoluto*. La primera de ellas implica que los derechos reales se ejercitan directamente sobre los bienes por su titular sin necesidad de intervención de intermediario alguno, mientras que su carácter absoluto supone que los derechos se ejercen y son protegidos *erga omnes*, frente a todos, a diferencia de lo que sucede en el marco de los derechos de crédito, que sólo son ejercitables *erga debitorem*, contra la persona del deudor.

Entre los derechos reales, distinguimos a la *propiedad*, que otorga a su titular un poder jurídico pleno sobre la cosa, de los *derechos reales sobre cosa ajena*, que conceden a su tenedor una facultad sobre una cosa que pertenece a otra persona, como sucede en el caso del usufructo (que concede el uso y disfrute) o de las servidumbres prediales. Los derechos reales sobre cosa ajena se estructuran asimismo en dos grandes grupos: los *derechos reales de goce*, que atribuyen a su titular la facultad de usar o disfrutar de una cosa, y los *derechos reales de garantía*, que facultan a un acreedor para ejecutar su crédito sobre el bien, en el caso de impago del mismo. Para garantizar la oponibilidad frente a terceros de los derechos reales de garantía y para dar conocimiento a todos (y particularmente a los compradores) de las cargas reales que gravaban cada finca se fueron creando, desde la Baja Edad Media, registros de hipotecas y de cargas reales que, finalmente, en el siglo XIX, con la llegada de la Revolución Industrial y la generalización del crédito territorial, se transformaron en los Registros de la Propiedad contemporáneos. Podemos citar, entre otras disposiciones legales, la *Loi du 23 mars 1855 sur la Transcription hypothécaire* francesa, la *Ley Hipotecaria* española de 1861, la *Real Property Act 1858* de Nueva Gales del Sur, o el *BGB* y el *Grundbuchordnung* alemán del año 1896.

La llegada de la Tercera Revolución industrial y la generalización de la computación y de las bases de datos no supusieron una alteración sustancial de las bases de la publicidad registral, aunque sí que implicaron -en muchos países- la digitalización de los datos relativos a la situación jurídica de las fincas, de los que hasta ese momento sólo se tomaba razón en libros de papel.

En la actualidad, las tecnologías vinculadas a la Cuarta Revolución Industrial, como la inteligencia artificial o los protocolos distribuidos (de los que *blockchain* es una variedad) están comenzando a provocar una nueva transformación dentro del ámbito jurídico debido a la introducción de instituciones como las criptomonedas, los derechos subjetivos cibernético-algorítmicos (*tokens*) o los contratos inteligentes (*smart contracts*). Cabría preguntarse en qué medida esta nueva revolución tecnológica, basada en la descentralización de las bases de datos y el uso extensivo de algoritmos y de criptografía, puede afectar también a la llevanza práctica de los Registros de la Propiedad y al mismo concepto de propiedad fundiaria.

El Registro de la Propiedad puede definirse como aquella *base de datos en la que se inscriben y anotan las circunstancias relativas a la propiedad y los demás derechos reales que recaen sobre bienes inmuebles*. De esta definición resulta que el Registro de la Propiedad es ante todo una base de datos controlada por un funcionario, el Registrador de la Propiedad, único autorizado para realizar alteraciones en la misma mediante los procedimientos denominados de *calificación* y de *extensión de asientos*, que con posterioridad examinaremos. Los protocolos distribuidos se diferencian de los registros públicos (como el de la Propiedad o el Mercantil) en que el almacenamiento de la información se realiza de una manera descentralizada y la labor de calificación no la realiza un funcionario público, sino un algoritmo. La *descentralización* presenta

la ventaja de que el sistema es menos vulnerable a los ataques de *ransomware*¹ y otros intentos de sabotaje del sistema informático, toda vez que la información se encuentra replicada en todos los nodos de la red y no existe ningún *punto único de fallo (single point of failure)* dentro de la misma. La *calificación*, es decir, el procedimiento en cuya virtud se determina si la transmisión de un determinado derecho real es válida (y puede por lo tanto producir alteraciones en la base de datos) es realizada por un *algoritmo* ejecutado por todos y cada uno de los nodos de la red.

El uso de la tecnología de protocolo distribuido en el marco de la publicidad fundiaria presentaría enormes ventajas en áreas del mundo en vías de desarrollo como la zona del Sahel. En esta última región, que engloba países como Sudán² o Chad, a menudo las estructuras estatales han sido debilitadas tras décadas de guerras civiles, no existe un funcionariado versado en derecho inmobiliario y las administraciones públicas no se encuentran en condiciones de ofrecer un sistema de publicidad fundiaria de garantías. Esta situación constituye un verdadero lastre en el plano económico, toda vez que la ausencia de un sistema registral eficiente impide que se puedan constituir derechos reales de garantía sobre parcelas de tierra y que se generalice el crédito territorial. Dado que un importante porcentaje del PIB de dichos países es de origen agrícola, esto dificulta a su vez la atracción de capital foráneo. Además, como consecuencia de la explosión demográfica africana, es posible que en el futuro proliferen conflictos por la posesión de la tierra fértil y de recursos naturales como el agua o el petróleo, que se agudizarán por la inexistencia de un sistema adecuado de publicidad fundiaria.

Todas estas dificultades podrían ser resueltas por un Registro de la Propiedad basado en tecnología *blockchain*, cuyos datos se encontrarían replicados en servidores ubicados en diferentes puntos del país, y en el que la labor de calificación se realizaría por los propios nodos, mediante un procedimiento de naturaleza algorítmica. El registro almacenaría datos relativos a la situación jurídica de las fincas, pero no sobre la configuración física de las mismas (tarea que quedaría a cargo del catastro), si bien se le podría incorporar una base gráfica construida mediante fotos tomadas por satélite o drones, como veremos en epígrafes subsiguientes. Este registro permitiría inscribir datos relativos a la propiedad y demás derechos reales constituidos sobre parcelas agrícolas o fincas urbanas, así como derechos de aguas o concesiones administrativas sobre obras públicas y sobre minas.

Los Registros de la Propiedad se clasifican en dos grandes familias:

a) Registros de la Propiedad cuyo objeto principal es garantizar el principio *prior tempore potior iure* y la inoponibilidad de lo no inscrito. La transmisión de la propiedad y los demás derechos reales se realiza fuera del Registro y los efectos sustantivos de este último consisten en dar prioridad en la adquisición de la propiedad al primero que inscribe su derecho de propiedad en caso de doble venta, y en considerar inoponibles los gravámenes no inscritos. Es el caso del sistema registral francés y de los sistemas registrales vigentes en algunos territorios de derecho de Common Law.

b) Sistemas de publicidad fundiaria en los que se impone una identidad absoluta entre la realidad jurídica registral y la extra-registral, en aras de la seguridad del tráfico jurídico. En ellos, se aplica de una manera absoluta el principio de que *quod non est in actis, non est in mundus* (lo que no está en el registro no está en el mundo), también llamado *principio de inscripción constitutiva*. En su virtud las transmisiones que no se inscriben no surten efecto jurídico-real alguno. La transmisión de la propiedad tiene lugar de un modo abstracto y completamente aislado de los negocios jurídicos causales. Dentro de esta categoría se ubican los sistemas registrales alemán y australiano.

Un sistema registral basado en tecnología *blockchain* tendría un funcionamiento muy parecido a los registros de esta última categoría, toda vez que, tal y como expusimos en otro de nuestros trabajos, en los *ordenamientos algorítmicos* las mutaciones de derechos y la evolución del *estado de máquina* del protocolo distribuido tienen lugar de forma autónoma, *autoejecutante*, sin necesidad de que se produzca intervención alguna desde el exterior. Existe una identificación plena entre las situaciones jurídicas de los individuos y el contenido de la base de datos distribuida, en línea con el principio de inscripción constitutiva citado en el párrafo anterior.

En los sistemas contractuales de naturaleza abstracta, como el alemán, existe una separación plena entre los negocios jurídicos causales y los negocios jurídicos traslativos de propiedad: De acuerdo con el *Bürgerliches Gesetzbuch* (Código civil alemán), la compraventa no transmite la propiedad. Se limita a crear vínculos de naturaleza contractual y obligacional entre las partes. Para transmitir la propiedad es necesario que las partes perfeccionen además un contrato específico de transmisión de la propiedad denominado *Einigung* (o *Auflassung*), cuya naturaleza es completamente abstracta, de tal manera que aunque el negocio jurídico de fondo (p.e. la compraventa) devenga nulo, la transmisión de la propiedad seguirá produciendo sus efectos, siempre que haya sido inscrita en el Registro.

La transmisión de derechos dentro de los ordenamientos algorítmicos se realiza también de un modo acausal: Las transmisiones de criptomonedas y *tokens* se articulan a través de negocios traslativos de dominio, de naturaleza abstracta y cuya validez depende exclusivamente de haber sido firmado criptográficamente por el titular de dichos derechos, con independencia de que la relación jurídica causal que hubiese motivado dicha transmisión sea válida o no. Dentro de los ordenamientos algorítmicos, no hay lugar para los conceptos de *causa de una obligación* o *causa de una transmisión (iusta causa traditionis)*. Estos conceptos sólo existen en el ámbito *extraprotocolar*.

En resumidas cuentas, en los ordenamientos algorítmicos se configura un sistema traslativo de dominio de naturaleza abstracta, en el que la causa, o bien no existe, o bien no queda reflejada dentro de la base de datos de la *blockchain*.

2.La estructura de Ethereum

Originariamente, el protocolo Bitcoin sólo permitía la transmisión de derechos de naturaleza fungible como las criptomonedas. Aunque se permitía la ejecución de pequeños algoritmos para decidir si validar o no las transacciones, el lenguaje de programación de los mismos, *Script*, no era Turing-completo, lo que limitaba su versatilidad. Por este motivo, en el año 2013 Vitalik Buterin propuso la creación de una nueva plataforma de *blockchain* que permitiera ejecutar contratos inteligentes, utilizando un lenguaje de programación Turing-completo. Sus ideas fueron la base de la creación de Ethereum, cuyo desarrollo comenzó durante el verano del año 2014.

Al igual que sucede con Bitcoin, en Ethereum la información relativa a los negocios jurídicos es ensamblada, por medio de funciones criptográficas, en estructuras arborescentes (llamadas *tries*) cuyas raíces -que son números naturales de decenas de dígitos- a su vez se utilizan para crear bloques de información que se ordenan temporalmente y se vinculan los unos a los otros sucesivamente, formando una cadena cuyo primer eslabón -el bloque del Génesis- apareció en el año 2014.

Existen enormes diferencias entre los protocolos de Ethereum y Bitcoin, tanto en lo relativo a la estructura de los bloques como en lo relativo a la posibilidad de ejecutar contratos inteligentes (*smart contracts*) de una cierta complejidad algorítmica. Dentro de Bitcoin, los negocios jurídicos traslativos de criptomonedas se vinculan los unos a los otros por medio de funciones criptográficas (denominadas *hashes*) y se integran en una estructura de datos denominada “árbol de Merkle”. La raíz de dicho árbol, que es un número natural, se incorpora al bloque correspondiente.

En Ethereum a cada bloque le corresponden **tres estructuras arborescentes diferentes, denominadas *Patricia-Merkle tries***:

-La primera de ellas, el **árbol de estado del mundo (*World State Trie*)** guarda información relativa a las cuentas de usuario. Las cuentas de Ethereum pueden ser de dos tipos: cuentas pertenecientes a usuarios externos (*Externally owned accounts, EOA*) y cuentas pertenecientes a contratos (*Contract accounts*). Las primeras pertenecen a usuarios, **personas físicas**, situados fuera de la *blockchain*, que pueden autorizar transacciones de *ethers* por medio de su clave privada. Las segundas pertenecen a unas entidades análogas a las **personas jurídicas**, las *organizaciones autónomas descentralizadas* (*Decentralized Autonomous Organizations, DAOs*), que son patrimonios independientes cuyo funcionamiento se rige por un contrato inteligente, que hace las veces de *estatuto social*. El código de este contrato inteligente es almacenado en una base de datos, y únicamente su *hash* es incorporado al *árbol de estado*. Dentro de esta sección de la *blockchain* se almacenan asimismo todas las variables relativas a los contratos inteligentes, entre ellas, los *tokens*, que pueden ser definidos como aquellos *asientos electrónicos practicados en un libro mayor distribuido, controlados por un contrato inteligente y que representan la tenencia de un derecho subjetivo*. Los *tokens* se diferencian de las criptomonedas en que la creación y la transmisión de los primeros se realiza y controla por un contrato inteligente, mientras que, en el caso de las criptomonedas, la emisión se realiza por el proceso de minado, y los procesos de transmisión son regulados por las normas del propio protocolo. Los *tokens* pueden utilizarse tanto para documentar valores mobiliarios (es el caso del interfaz ERC20) como para representar los derechos reales que recaen sobre bienes inmuebles, como veremos en secciones subsiguientes.

-La segunda de las estructuras arborescentes, el **árbol de transacciones (*Transaction Trie*)**, almacena, como su propio nombre indica, todos los datos relativos a las transferencias de *ethers*, entre ellas, el número de cuenta a la que éstas se realizan. Si el número de la cuenta de destino es cero, la *blockchain* de Ethereum procede a crear una nueva cuenta contractual (*Contract account*), a la que se asigna un nuevo número y cuyo funcionamiento es regido por un contrato inteligente. El código de dicho contrato es fijado por los propios datos que adjunta la transacción. Si la dirección de destino es diferente a cero, el importe de la transmisión se sustrae del saldo de la cuenta de procedencia y se agrega al saldo de la cuenta de destino, de un modo no muy diferente al que tiene lugar cuando se perfecciona una transferencia bancaria.

-La última estructura es la que recoge el **resultado de las transacciones (*Transaction Receipt Trie*)**. En ella se documenta, por medio de un *booleano*, si la transacción ha tenido éxito o no. Antes de incorporar una transacción a la cadena de bloques, los nodos han de comprobar si se reúnen los requisitos establecidos en el protocolo para la validez de la misma. En el caso de que la transacción haya sido exitosa y válida, a la misma se le

asigna un *hash* y el booleano toma el valor de 1. Y si el propósito de la misma era la creación de una *organización autónoma descentralizada*, regida por un contrato inteligente, se le asigna además una cuenta de usuario a la misma. Si por el contrario la transacción ha sido fallida el booleano toma el valor de 0 y no se procede a cambio alguno en el *árbol de estado del mundo* (World State Trie), que es el que almacena toda la información relativa a los derechos subjetivos, como ya hemos apuntado con anterioridad.

3.La mecánica registral: los asientos y los derechos

El funcionamiento de un Registro de la Propiedad no es muy diferente en esencia al de una cadena de bloques. Las transacciones del Registro se denominan *asientos registrales*, se refieren a la titularidad del dominio y demás derechos reales sobre bienes inmuebles y se practican en papel. La base de datos no es distribuida, sino que está centralizada y controlada por un Registrador de la Propiedad, cuya competencia es territorial. La labor calificadora del Registrador (que decide si un determinado negocio jurídico se inscribe o no) es equivalente a la tarea de los nodos de la red de Ethereum, que comprueban si una transacción ha sido válida o no y si consecuentemente su contenido se incorpora (“se inscribe”) a la cadena de bloques. La creación, modificación y extinción de los derechos subjetivos inscritos en el Registro se realiza conforme a las normas del Código civil y de la Ley y el Reglamento Hipotecario, que cumplen una función similar a la del código de un *smart contract*.

El *asiento registral* es la operación básica del funcionamiento de cualquier sistema de publicidad fundiaria. Puede ser definido, de acuerdo con Roca Sastre, como *la constatación formal y solemne, hecha en los libros del Registro de la Propiedad, de los hechos, actos y contratos que por su naturaleza puedan tener acceso al mismo, para que surtan los efectos hipotecarios procedentes*. Son asientos registrales las *inscripciones*, por las cuales se toma razón en el Registro de la adquisición de un derecho (p.e. por medio de un contrato de compraventa), las *anotaciones preventivas*, que versan sobre situaciones jurídicas de naturaleza provisional y las *cancelaciones*, que eliminan del Registro información relativa a la tenencia de un derecho. Dentro del ámbito de las cadenas de bloques, el equivalente del asiento registral es la *transacción*, que puede ser definida como aquel *mensaje firmado criptográficamente por el titular de una cuenta de Ethereum, que implica la modificación del estado de máquina del protocolo distribuido*. Sólo por medio de las transacciones pueden transferirse ethers de una cuenta a otra, ejecutar funciones de contratos inteligentes, transferir y crear *tokens*, o realizar cualquier otra operación que suponga una modificación de la base de datos de la cadena de bloques, y con ella, de los derechos subjetivos pertenecientes los titulares de las cuentas.

En el modelo que proponemos, la autorización de los asientos electrónicos correspondería a una *organización autónoma descentralizada (DAO)*, una persona jurídica cibernético-algorítmica, a la que denominamos **Registrador General** y cuyo funcionamiento estaría controlado por un contrato inteligente. El código de este contrato tendría una enorme extensión y sería de una extraordinaria complejidad, toda vez que dentro del mismo deberían regularse los procedimientos y requisitos para la adquisición, transmisión y extinción de los derechos reales inmobiliarios, así como la extensión de los asientos electrónicos que los representarían. De lo que se trataría es de crear un equivalente en código máquina de la regulación actualmente contenida en la legislación civil e hipotecaria del país de que se trate.

Todos los datos relativos a las fincas, sus titulares y los derechos reales constituidos sobre las mismas estarían representados por *tokens no fungibles*: una suerte de variables numéricas y de texto que se almacenarían en la cuenta que el Registrador General tiene asignada dentro del

árbol de estado del mundo (World State Trie) de Ethereum, cuya modificación sólo podría ser realizada por el propio Registrador General conforme a procedimientos algorítmicos y predeterminados. Tal y como expusimos en otro de nuestros trabajos, dentro de cada ordenamiento algorítmico los derechos y deberes de los sujetos están representados por el *estado de máquina* del protocolo distribuido, y por ello, en el sistema propuesto en este artículo, cualquier mutación jurídico-real debería venir acompañada de una correlativa modificación del mismo.

Así, pues, la cuenta del Registrador General dentro de Ethereum debería contener la siguiente estructura:

```
{  
  "nonce": // El valor de este campo será siempre cero  
  "balance": // Número de ethers en posesión del Registrador General, procedentes del pago de aranceles  
  "storageRoot": // Enlaza a los tokens no fungibles que representan las fincas registrales  
  "codeHash": // Enlaza al código del Registrador General, que regula los procedimientos de calificación y práctica de asientos  
}
```

Dentro de Ethereum, el protocolo distribuido sólo puede modificarse mediante las *transacciones*, que son mensajes firmados por el propietario de una cuenta de Ethereum, de los que se toma razón en la *blockchain*. Las transacciones son la única operación susceptible de causar cambios de estado dentro del protocolo y de iniciar la ejecución de una función de un contrato inteligente. El contenido sustantivo (*payload*, carga) de una transacción viene conformada por el valor (*value*) y los datos (*data*) asociados a la misma. El valor hace referencia a la cantidad de *ethers* que se transmiten de una cuenta a otra como consecuencia de la transacción. Los datos hacen referencia a la información asociada que se envía a la cuenta de destino junto con los *ethers*. La existencia del campo *data* permite invocar las funcionalidades del contrato inteligente asociado a la cuenta de destino, así como enviar mensajes de un usuario a otro dentro de Ethereum. Una transacción que sólo tiene *valor* es un pago (*payment*), una transacción que sólo tiene *datos* es una invocación (*invocation*).

En el nuevo modelo registral que proponemos, cualquier usuario que pretenda inscribir en la *blockchain* la creación, modificación y cancelación de un derecho real, deberá enviar una transacción a la cuenta del Registrador General, cuyo *valor* serían los aranceles en *ethers* a pagar por el transmitente, cuyos *datos* consistirían en el negocio jurídico sometido a inscripción, codificado en formato JSON.

La estructura de la transacción sería la siguiente:

```
{  
  "from": // cuenta del usuario que pretende inscribir una mutación jurídico-real  
  "to": // cuenta del Registrador General  
  [...]  
  "value": // aranceles/tasas a pagar  
  "data": // documento electrónico, codificado en formato JSON  
}
```

En la doctrina jurídica han existido debates acerca de cuál es el objeto de la publicidad fundiaria. Algunos autores consideran que el Registro de la Propiedad publica los actos y contratos que se someten a inscripción, mientras que otros autores consideran que el objeto de la publicidad son los derechos. Puede decirse que, dentro de las cadenas de bloques, Bitcoin publica exclusivamente actos consistentes en las transacciones de criptomonedas. En Ethereum, por el contrario, se publican tanto actos como derechos: Los actos (transacciones), se incorporarán al *árbol de transacciones (Transaction Trie)*, mientras que la titularidad de los derechos (por ejemplo, criptomonedas y *tokens*) es almacenada en el *árbol de estado del mundo (World State Trie)*, particularmente, en el espacio asignado a la cuenta del Registrador General.

Figura 1: Comparación entre un sistema registral convencional (columna de la izquierda) y un sistema registral que funciona en cadena de bloques (columna de la derecha).

Titular persona física	Cuenta externa (Externally Owned Account)
Titular persona jurídica	Cuenta contractual (Contractual Account)
Fincas registrales	<i>Tokens</i> no fungibles
Asientos registrales	Transacciones
Mutación jurídico-real	Modificación del <i>estado de máquina</i> de la cadena
Registradores de la Propiedad	Registrador General
Presentación de un documento	Envío de una transacción al Registrador General
Calificación	Ejecución de una transacción

Fuente: Elaboración propia

4. Los principios de la publicidad registral algorítmica.

a) Principios de consentimiento formal y de abstracción

El principio de *consentimiento formal* implica que para inscribir la transmisión del dominio u otro derecho real sobre un bien inmueble, únicamente es necesario que el disponente tenga inscrito dicho bien a su nombre en el Registro y que declare su voluntad inequívoca de transmitir la propiedad o el derecho real de que se trate. No es necesario que exista negocio jurídico causal alguno (como una compraventa válida) que justifique la transmisión. Este principio está intrínsecamente unido al de *abstracción*, ya expuesto con anterioridad y en cuya virtud los negocios jurídicos causales no quedan reflejados en la *blockchain*.

b) Principio de inscripción constitutiva

Para la perfección de cualquier negocio de trascendencia jurídico-real es necesaria la inscripción del mismo en el Registro de la Propiedad. Como ya se señaló con anterioridad, este principio, también conocido con la expresión latina "*quod non est in acta, non est in mundus*", está vigente en los sistemas registrales alemán y australiano. Y también lo está en los *ordenamientos algorítmicos* residentes en las cadenas de bloques, en los que, en virtud del principio de que "*el código es la ley*" ("*Code is Law*") existe una identidad absoluta entre el *estado de máquina* del protocolo distribuido y la situación jurídica de los individuos.

c) Principio de tracto sucesivo

Las inscripciones (articuladas dentro de Ethereum en forma de transacciones) relativas a un mismo derecho real se ordenan en una cadena, en cuya virtud cada uno de ellas debe contener una referencia (*hash*) a la inscripción inmediatamente anterior. La primera de las inscripciones es la de *inmatriculación*, en cuya virtud se toma razón en el Registro de la creación de una nueva finca registral y la adquisición originaria de la propiedad de la misma por parte de su primer titular.

d) Principio de calificación

En los sistemas registrales modernos, un funcionario (*Registrador de la Propiedad* en España, *Rechtspfleger* en Alemania) es el que por lo general se encarga de determinar si los negocios jurídicos sometidos a inscripción reúnen o no los requisitos exigidos por la legislación vigente para poder ser inscritos. Dentro de Ethereum, el procedimiento de calificación se realiza por los propios nodos de la red de un modo algorítmico: son las normas del protocolo y, en su caso, del contrato inteligente las que determinan si una transacción se ejecuta de una manera exitosa y, en consecuencia, se produce un cambio en el *estado de máquina* global de la cadena de bloques.

El resultado de la calificación de la transacción es almacenado por medio de un booleano (uno, cuando la calificación ha sido positiva; cero, cuando la calificación ha sido negativa) en la estructura arborescente denominada *Transaction Receipt Trie*, que como su propio nombre indica almacena los datos relativos al resultado de las transacciones.

e) Principio de legalidad

Las transacciones que pretendan alterar el dominio (u otro derecho real) de una finca deben ajustarse a los *requisitos materiales* exigidos por la legislación civil del país de que se trate, así como a los *requisitos formales* -relacionados con la estructura del documento electrónico- exigidos por el código del *smart contract* que controla la cuenta del Registrador General.

f) Principio de publicidad formal

Por lo general, el contenido de los asientos del Registro de la Propiedad es público para todo aquel que tenga interés en averiguar el estado de los bienes inmuebles o derechos reales inscritos. La publicidad formal se articula a través de las certificaciones expedidas por los funcionarios a cargo de los registros, así como por la posibilidad de examinar directamente los libros donde se han practicado los asientos.

Dentro de Ethereum, el contenido de las transacciones de *ethers* así como de las cuentas de usuario pueden ser examinados directamente mediante un escaneo de la *blockchain*, e indirectamente mediante la invocación de una función-llamada denominada *call()*, que permite a cualquier usuario conocer las variables almacenadas en un contrato inteligente (p.e. *tokens*), si el código de este último lo permite. Por estas razones, en un Registro de la Propiedad articulado en una *blockchain* de Ethereum, podrían diseñarse con facilidad mecanismos de publicidad formal que permitieran a los ciudadanos acceder a la información de los derechos reales inscritos.

g) Principio de prioridad (*prior tempore, potior iure*)

Dentro del sistema registral que proponemos, los derechos reales de garantía inscritos se ordenan por su rango, de tal modo que los créditos inscritos en una fecha más antigua tienen prioridad sobre aquéllos inscritos con posterioridad. Este principio se conoce con el brocardo latino *prior tempore, potior iure*, que significa que los títulos que se inscriben con anterioridad en el tiempo tienen prioridad en el derecho sobre aquellos inscritos con posterioridad.

Dentro de Ethereum, la fecha y la hora de la transacción es la misma que la del bloque a la que está incorporada. Dentro de cada bloque, las transacciones se ordenan por números, de tal manera que las que tienen un número más bajo se ejecutan con prioridad sobre aquellas que tienen un número más alto. Parece claro que el principio de prioridad puede ser garantizado sin el menor problema en el marco de una cadena de bloques.

h) Principio de rogación

El principio de rogación implica que el encargado del Registro de la Propiedad sólo puede extender asientos cuando así se le solicite por parte interesada o por intervención judicial o administrativa. El Registrador no puede, de oficio, practicar inscripciones o cancelaciones.

Dentro de Ethereum, aunque se dice que los contratos inteligentes son *autoejecutantes* y que, por lo tanto, su ejecución se inicia y avanza de un modo automático, sin intervención de autores externos, en realidad, la ejecución de las funciones de los *smart contracts* sólo puede comenzar mediante una transacción enviada desde el exterior a la cuenta del propio contrato. La máquina virtual de Ethereum no puede iniciar *de motu proprio* la ejecución de un contrato inteligente sin previamente haber recibido una transacción.

5. Práctica de los asientos registrales

Toda persona que pretenda inscribir un negocio jurídico traslativo de un derecho real o practicar cualquier otro tipo de asiento deberá enviar una transacción a la cuenta del Registrador General. El importe de la transacción vendrá constituido por los aranceles a pagar al Registrador, mientras que los datos asociados contendrán el documento electrónico del que se pretenda tomar razón en el Registro.

Los datos de esta transacción se estructurarán en los campos siguientes:

```
{
  "asiento:"           // Asiento a practicar (esta sección deberá incluir los
                       // certificados digitales identificadores de los firmantes , en
                       // un modo que se determinará en las secciones
                       // subsiguientes)
  "tipo_asiento:"     // Código numérico que indica el tipo de asiento
                       // solicitado
  "firmas":           [...] // Firmas de los datos contenidos en la sección "asiento"
                       // expedidas utilizando las claves privadas de los firmantes
}
```

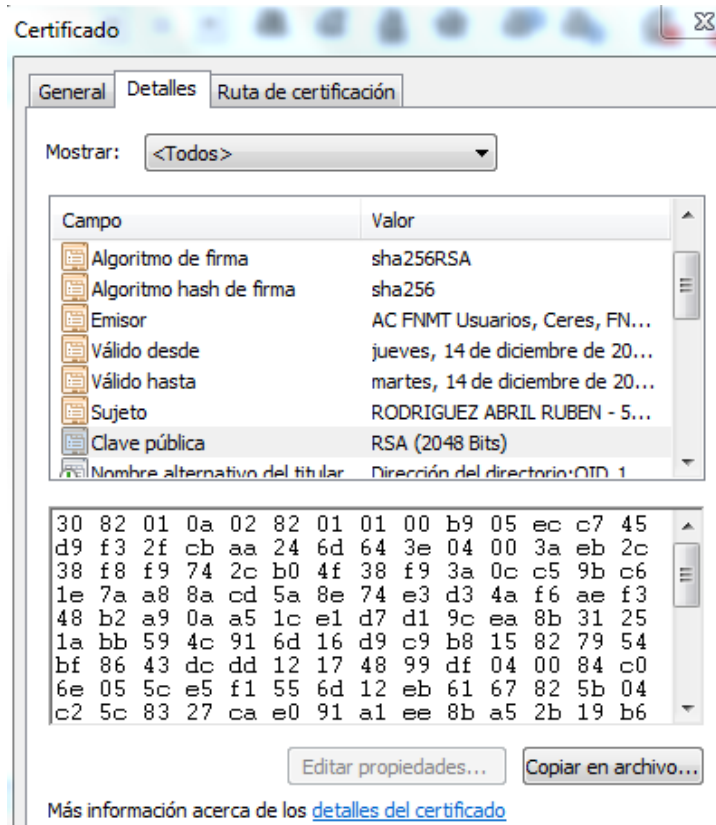
El primer campo contiene el *asiento* cuya práctica se solicita. El segundo campo contiene la tipología del asiento a practicar, expresada por medio de un código numérico (0, para las inscripciones; 1, para las anotaciones; 2, para las cancelaciones; 3, para las notas complementarias). En último lugar, el documento incluye las *firmas electrónicas* de cada uno de los disponentes, expedidas utilizando la clave privada de cada uno de ellos.

A partir de los años 70, surgieron y se generalizaron sistemas de *criptografía asimétrica* en el marco del comercio y de las comunicaciones electrónicas. En dichos sistemas, un ordenador genera dos claves, privada y pública, que están matemáticamente entrelazadas. La primera queda en poder exclusivamente del sujeto y se utiliza para firmar documentos electrónicos. La segunda se pone a disposición de todos y es empleada para verificar la validez de la firma y, con ella, la de la declaración de voluntad emitida por el firmante.

Particular importancia revisten -dentro del tráfico jurídico electrónico- los *certificados digitales*, que son documentos que vinculan a cada persona física o jurídica con su clave pública, pudiendo por ello ser utilizados para identificar tanto a servidores (lo que sucede en el caso de los protocolos TSL y SSL, empleados para garantizar conexiones seguras en el marco de la navegación web) como a individuos particulares y empresas. A modo de ejemplo, a continuación se reproduce parcialmente el *certificado digital de persona física* expedido por la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre (FNMT) española a favor de un ciudadano particular:

Figura 2: Ejemplo de certificado electrónico.

Fuente: Elaboración propia.



Como se puede comprobar, el certificado incorpora el nombre, los apellidos y el DNI del sujeto, y le atribuye una clave pública de 2048 bits de extensión.

Dentro de la Unión Europea, una firma electrónica acompañada de su correspondiente certificado digital tiene el carácter legal de una **firma electrónica avanzada**, y ostenta el **mismo valor legal que una firma manuscrita**, en línea con lo dispuesto en los párrafos 10 a 12 del artículo 3 del Reglamento (UE) n ° 910/2014 (a menudo, denominado *Reglamento eIDAS* en la literatura especializada), que distingue entre tres tipos de firmas digitales diferentes:

-*firma electrónica*, definida como aquellos *datos en formato electrónico anejos a otros datos electrónicos o asociados de manera lógica con ellos que utiliza el firmante para firmar*.

-*firma electrónica avanzada*, descrita como aquella *firma electrónica que cumple los requisitos contemplados en el artículo 26*.

-*firma electrónica cualificada*, definida como una *firma electrónica avanzada que se crea mediante un dispositivo cualificado de creación de firmas electrónicas y que se basa en un certificado cualificado de firma electrónica*.

Las firmas electrónicas de la tercera categoría (firmas electrónicas cualificadas acompañadas de un certificado electrónico) tienen el mismo valor que el de una firma manuscrita, en virtud de lo dispuesto en el párrafo segundo del artículo 25 del mismo texto legal. Además, una firma electrónica basada en un certificado cualificado expedido por las autoridades de un país miembro (como los emitidos en España por la FNMT) será reconocida como una firma electrónica digital en el resto del territorio de la Unión Europea.

Cada vez que se envíe una transacción a la cuenta del Registrador General con el propósito de tomar razón de un nuevo asiento, el código de su *smart contract* deberá proceder en primer lugar a *legitimar criptográficamente* las firmas del documento. La *legitimación de firmas* (denominada “*notarization*” en los países de lengua inglesa cuyo sistema legal está basado en el Common Law) es aquel procedimiento en cuya virtud el notario se limita a comprobar la identidad de los firmantes de un documento privado, pero sin hacer juicio alguno acerca de la legalidad del contenido de este último. Es un procedimiento que está regulado en normas jurídicas de múltiples ordenamientos europeos, como, por ejemplo, los artículos 255 y siguientes del Reglamento Notarial español, el párrafo 129 del *Bürgerliches Gesetzbuch* alemán, los artículos 1 y 2 del Décret n°2007-1205 francés, y muchos otros.

Dentro del sistema que en este artículo proponemos, el Registrador General comprobará que los certificados digitales son válidos, que han sido emitidos por una entidad estatal competente y que no han sido revocados. Seguidamente, se verificará la validez de cada una de las firmas del documento.

Dado que los documentos sometidos a inscripción son de carácter dispositivo (producen una mutación jurídico-real), se plantea el problema de determinar qué personas tienen el poder de disposición sobre los derechos inscritos y, por lo tanto, las firmas de qué personas son necesarias para proceder a la inscripción en la *blockchain* de un negocio jurídico traslativo del dominio o de otro derecho real. En este trabajo proponemos el siguiente esquema:

-En el caso de las transmisiones *inter vivos* de la propiedad y de los demás derechos reales, el documento debe ser firmado por el transmitente o los transmitentes de su derecho.

-En el caso de la constitución de un derecho real limitado, bien sea de goce (p.e. usufructo) o de garantía (p.e. hipoteca), es necesaria la firma del titular del derecho sobre el que dicho derecho se constituya (la hipoteca se puede constituir, no sólo sobre un derecho de propiedad, sino también sobre un usufructo).

-En el caso de la transmisión *mortis causa* de un derecho real, el documento debe ser firmado por el notario o el letrado de la administración de justicia ante el que se haya verificado la partición (extrajudicial, en el primer caso; judicial, en el segundo) de la herencia.

-En el caso de la transmisión forzosa de la propiedad como consecuencia del ejercicio de la acción reivindicatoria, las acciones de individualización del dominio (p.e. la *actio communi dividundo*, que pone fin a las situaciones de proindiviso), o cualquier otro remedio procesal que suponga la enajenación de un derecho contra la voluntad de su titular, se requerirá la firma del letrado de la administración de justicia correspondiente.

-Para la inscripción de las concesiones administrativas o los derechos sobre aguas, será necesaria la firma digital de la autoridad administrativa correspondiente.

Así, pues, el procedimiento de calificación del Registrador General sigue el siguiente esquema:

- Legitimación criptográfica de las firmas.
- Análisis de la naturaleza jurídica del negocio jurídico sometido a inscripción.
- Comprobación de la existencia de *ius disponendi* en los firmantes.

Los asientos registrales extendidos por el Registrador General pueden ser de cuatro tipos: inscripciones, cancelaciones, anotaciones preventivas y notas marginales.

5.1. Inscripciones

Las inscripciones son asientos positivos, que implican la creación o la transmisión de un derecho real sobre cosas. Las transmisiones pueden ser voluntarias o forzosas, dependiendo de si las mismas son ordenadas por el propio titular del derecho real o por el contrario lo son por alguna autoridad judicial o administrativa (como en el caso de las ejecuciones de bienes o de las expropiaciones forzosas). Pueden ser *inter vivos* o *mortis causa* si se producen como consecuencia de un negocio jurídico perfeccionado por personas vivas, o si por el contrario están sometidas a una *conditio iuris*³ consistente en la muerte de una persona.

En consecuencia, proponemos clasificar las inscripciones electrónicas en tres tipologías diferentes:

- Transmisión de un derecho.
- Constitución de un derecho real de goce.
- Constitución de un derecho real de garantía.

5.1.1. Modelo de inscripción de transmisión de un derecho

```
{
  "codigo_finca":           // Código numérico identificador de la finca
  "codigo_derecho":        // Código numérico correspondiente al derecho que se
                           // transmite.
  "mortis_causa":         // Transmisión inter vivos (booleano 0) o mortis causa
                           // (booleano 1)
  "forzosa":               // Transmisión voluntaria (booleano 0) o forzosa (booleano
                           // 1)
  "numero_transmitentes": // Número de transmitentes del derecho.
  "transmitentes": {      // Información sobre los transmitentes del derecho
    certificado            // Identifica al transmitente del derecho
    cuota                 // Cuota alícuota del derecho que se transmite
    hash_inscripcion      // Hash de la inscripción de la que el
                           // transmitente trae causa
  }
  "numero_adquirentes":   // Número de adquirentes del derecho.
  "adquirentes": {       // Información sobre los adquirentes del derecho
    certificado            // Identifica al adquirente del derecho
    cuota                 // Cuota alícuota del derecho que se adquiere
    extinción             // Fecha de extinción del derecho adquirido
                           // (opcional)
  }
  "solidaridad":          // Carácter mancomunado (booleano 0) o solidario
                           // (booleano 1) de la comunidad que se inscribe
  "funcionario_publico": { // Información sobre el funcionario público ante el que
                           // se ha practicado la partición de la herencia o la
                           // enajenación forzosa (sólo si la transmisión es forzosa y/o
                           // mortis causa)
    certificado           // Identifica criptográficamente al fedatario público
  }
}
```

En el ámbito de los derechos reales la doctrina distingue entre los sistemas de *numerus clausus* y los de *numerus apertus*. En los primeros (entre los que podemos citar el ejemplo alemán) existe un número limitado de tipos de derechos reales (*Typenzwang*) y el contenido de cada uno de ellos, así como las facultades de sus titulares, está estandarizado y predeterminado por la ley (*Typenfixierung*): basta con hacer mención en un documento al *nomen iuris* del derecho para conocer en toda su extensión las facultades del titular del mismo. Por el contrario, en los sistemas de *numerus apertus*, entre los que podemos incluir al ordenamiento real español existe una libertad ilimitada para crear derechos reales, derivada del principio de la autonomía de la voluntad concedido por el derecho civil a las partes de un contrato.

El sistema registral que presentamos en este trabajo estaría basado en un estricto *numerus clausus*: Cada derecho estaría identificado por un código (p.e. el número 0 representaría a la propiedad; el número 1, al usufructo; el número 2, al derecho de superficie y así sucesivamente), mientras que su contenido estaría fijado por la legislación civil del Estado correspondiente.

Tras la mención del código de la finca (que con posterioridad examinaremos) y del código del derecho, el documento traslativo del derecho real de que se trate identificará a cada uno de los *transmitentes* del derecho, especificando la cuota alícuota del derecho real que pretenden enajenar mediante dicho acto. Cada una de las partes será identificada por medio de un *certificado X.509* en los términos y con las características señaladas en los párrafos anteriores. Además, se incluirá el *hash* de la inscripción anterior de la que el derecho del transmitente trae causa para, de este modo, garantizar el principio de tracto sucesivo.

La siguiente sección dentro del documento es la que identifica a los *adquirentes*. Contendrá las mismas circunstancias que la sección anterior (transmitentes), pero con las siguientes particularidades:

-Puede configurarse la transmisión como reversible, estableciendo una fecha de reversión de la transmisión en favor del transmitente, en *tiempo universal de UNIX*.⁴

-Si son varios los adquirentes, el último campo, que es un booleano, permite configurar la comunidad como romana (valor 0) o como germánica (valor 1). Dentro de los ordenamientos jurídicos europeos se distingue entre dos tipos de comunidades diferentes: La comunidad romana, en la que la propiedad (u otro derecho real) se divide en cuotas y cada uno de los comuneros puede disponer libremente de la misma, y la comunidad germánica, también llamada comunidad en mano común (*Gemeinschaft zur gesamten Hand*), en la que no es posible la enajenación separada de cada una de las cuotas.

La última sección, relativa al funcionario público, es opcional, y sólo está presente cuando la transmisión es *mortis causa* y/o forzosa. Se dice que una transmisión es *mortis causa* cuando tiene lugar como consecuencia de la muerte de una persona. Evidentemente, en este caso, la transacción no puede ser firmada por el transmitente, que ya ha fallecido. En su lugar debe ser firmada criptográficamente por el funcionario (fedatario) público ante el cual se haya practicado la partición de la herencia: el notario, en el caso de las particiones extrajudiciales, el letrado de la Administración de Justicia, en el caso de las particiones judiciales. Lo mismo sucede en las transmisiones forzosas, que tienen lugar contra la propia voluntad del titular del bien, como en el caso de los embargos o de las expropiaciones forzosas. En este caso, el documento electrónico tendrá que incluir el certificado y la firma del notario que practique la partición de la herencia, del funcionario de la Administración Tributaria que tramite el procedimiento de apremio o del letrado de la Administración de Justicia, en el caso de los embargos trabados en el marco de un procedimiento ejecutivo.

5.1.2. Modelo de inscripción de la constitución de un derecho real limitado de goce

```
{
  "codigo_finca": // Código numérico identificador de la finca
  "codigo_derecho": // Código numérico correspondiente al derecho
                    que se constituya.
  "mortis_causa": // Transmisión inter vivos (booleano 0) o mortis
                  causa (booleano 1)
  "forzosa": // Transmisión voluntaria (booleano 0) o forzosa
             (booleano 1)
  "numero_constituyentes": // Número de constituyentes del derecho.
  "constituyentes": { // Información sobre los constituyentes del derecho
    certificado // Identifica al constituyente del derecho
    cuota // Cuota alícuota del derecho sobre el que el nuevo
           derecho real limitado se constituye
  hash_inscripcion // Hash de la inscripción de la que el constituyente
                   trae causa
  }
  "numero_adquirentes": // Número de adquirentes del derecho.
  "adquirentes": { // Información sobre los adquirentes del derecho
    certificado // Identifica al adquirente del derecho
    cuota // Cuota alícuota del derecho que se adquiere
    inicio // Fecha de inicio del derecho constituido
    extincion // Fecha de extinción del derecho constituido
  }
  "solidaridad": // Carácter mancomunado (booleano 0)
                 o solidario (booleano 1) de la comunidad que
                 se inscribe
  "funcionario_publico": { // Información sobre el funcionario público
    certificado // Identifica criptográficamente al fedatario
                 público
  }
}
```

Dentro de los derechos reales se distingue entre la *propiedad*, que atribuye a su titular un poder jurídico pleno sobre un objeto, y los *derechos reales sobre cosa ajena*, que se constituyen sobre otro derecho (p.e. propiedad) y atribuyen a su titular tan sólo un poder determinado sobre la cosa. Los derechos reales limitados a su vez pueden ser *de goce*, si conceden alguna facultad de uso y disfrute sobre la cosa (tal y como sucede en el caso del usufructo y de las servidumbres prediales), o *de garantía*, si atribuyen a su titular un derecho de realización de valor sobre el bien, para el caso del impago de un crédito (como sucede en el caso de las hipotecas).

Para constituir *inter vivos* un derecho real limitado de goce es necesario que el constituyente sea propietario de la cosa o que tenga facultad de disponer de la misma. Como consecuencia de ello, la inscripción electrónica del derecho debe contener una *referencia a la inscripción* (en este caso, un *hash*) del derecho de propiedad sobre el que se constituya el primero, así como la cuota alícuota del bien sobre la cual se cede el derecho de uso y disfrute.

Al igual que sucede en el caso de la propiedad, también en el ámbito de los derechos reales de goce -particularmente en el usufructo- pueden existir situaciones en las que el mismo derecho pertenezca a varias personas, simultánea o sucesivamente. Dentro de la doctrina se distinguen tres supuestos diferentes de multiplicidad de titulares en el marco del usufructo:

-Usufructo *mancomunado*: Cada uno de los usufructuarios tiene atribuido una cuota de los frutos de la cosa, y no está facultado para administrar o percibir los frutos de la parte de la cosa atribuida a los demás usufructuarios. Le corresponde un valor de *ceros* dentro del campo *solidaridad*.

-Usufructo *solidario*: Cualquiera de los usufructuarios tiene derecho a ejercer su derecho de goce por entero sobre toda la cosa. Le corresponde un valor de *uno* dentro del campo *solidaridad*.

-Usufructo *sucesivo*: Varias personas tienen derecho a disfrutar sucesivamente por entero de la cosa. Este tipo de usufructo se articularía mediante varias inscripciones en favor de varias personas, que determinarían el inicio y el final de cada uno de los periodos de uso y disfrute concedidos a cada titular.

5.1.3. Modelo de inscripción de la constitución de un derecho real limitado de garantía

```
{
  "codigo_finca": // Código numérico identificador de la finca
  "codigo_derecho": // Código numérico correspondiente al derecho que se constituya.
  "mortis_causa": // Transmisión inter vivos (booleano 0) o mortis causa
                  (booleano 1)
  "forzosa": // Transmisión voluntaria (booleano 0) o forzosa (booleano 1)
  "numero_constituyentes": // Número de constituyentes del derecho.
  "constituyentes": { // Información sobre los constituyentes del derecho
    certificado // Identifica al constituyente del derecho
    cuota // Cuota alícuota del derecho sobre el que el nuevo derecho
           real limitado se constituye
    cuota_deuda // Cuota alícuota de la deuda de la que es responsable el
                constituyente del derecho
    hash_inscripcion // Hash de la inscripción de la que el constituyente
                    trae causa
  }
  "numero_acreedores": // Número de acreedores.
  "acreedores": { // Información sobre los acreedores
    certificado // Identifica al acreedor
    cuota // Cuota alícuota del crédito correspondiente al acreedor
  }
  "numero_deudores": // Número de deudores.
  "deudores": { // Información sobre los deudores
    certificado // Identifica al deudor
    cuota // Cuota alícuota del crédito correspondiente al deudor
  }
  "solidaridad": // Carácter mancomunado (booleano 0) o solidario
                 (booleano 1) del crédito garantizado con hipoteca
  "plazo": // Plazo de duración de la hipoteca, en días
  "maximo": // Hipoteca ordinaria (booleano 0) o hipoteca de máximo
            (booleano 1)
  "importe": // Importe (o límite máximo) del crédito
  "sistema_amortizacion": // Código del sistema de amortización de la hipoteca
  "interes_variable": // Booleano cuyo valor es 0 si el interés es fijo y 1 si el
                     interés es variable
  "interes": // Interés a pagar (campo opcional, sólo se rellena si el interés
             es fijo)
  "indice_referencia" // Código del índice de referencia (campo opcional, sólo se
                     rellena si el interés es variable)
  "diferencial": // Código del diferencial a aplicar sobre el índice de
                 referencia (campo opcional, sólo se rellena si el interés es
                 variable)
  "IBAN_cuenta": // IBAN de la cuenta donde se el deudor ha de
                 realizar el ingreso de las cantidades debidas
}
```

La característica esencial de los derechos reales de garantía es la concesión a su titular del *ius distrahendi*, es decir, la facultad de instar la enajenación forzosa de un bien (por lo general, por medio de subasta) para proceder al pago del crédito con el precio de dicha enajenación.

En la escritura habrán de constar las circunstancias identificativas de acreedores y los constituyentes de la hipoteca. Un booleano señalará si la obligación garantizada con hipoteca es mancomunada o solidaria.

Seguidamente, se señalarán las circunstancias relativas la obligación garantizada, a saber,

- Plazo de duración de la hipoteca, señalado en días.
- Determinación de si la hipoteca es de *tráfico* (ordinaria) o de *máximo*. En las hipotecas de tráfico, el importe de la deuda queda completamente determinado en la inscripción. En las hipotecas de máximo, por el contrario, el importe de la cantidad debida queda inicialmente indeterminado y debe calcularse posteriormente extrarregistralmente. En el Registro sólo figura la cantidad máxima por la que debe responder la finca.
- Importe total del capital de la deuda. Si la hipoteca es de máximo, lo que se determina es el límite superior de la misma.
- Código del sistema de amortización de la hipoteca (0, para el sistema de amortización francés; 1, para el sistema alemán; 2, para el americano; etc...).⁵
- Determinación de si el interés es variable (booleano de valor 1) o fijo (booleano de valor 0).
- Interés a pagar por el deudor. Este campo es opcional, y sólo se rellena si el interés es fijo. En este último caso, consiste en el porcentaje a pagar por el deudor aplicado sobre el capital del crédito.
- Índice de referencia. Es un campo opcional que sólo se rellena si el interés es variable. Contiene el código numérico del interés de referencia de la hipoteca (1, si el índice es el *Euribor*; 2, si es el *TED Spread* estadounidense; 3; si es el *SIBOR* de Singapur; y así sucesivamente).
- Diferencial. Campo opcional, que sólo existe si el interés es variable. Determina la diferencia (en porcentaje) entre el índice de referencia y el porcentaje final a pagar por el deudor.

En el caso de impago del crédito por parte del deudor, el acreedor puede recurrir a dos tipos de ejecución hipotecaria diferentes:

- a) Ejecución judicial, que es tramitada ante los tribunales de justicia. La labor de la cadena de bloques se limita a proporcionar al tribunal un título ejecutivo con el que iniciar el procedimiento. La tramitación del mismo tendrá lugar extrarregistralmente. Si concluye con éxito se procederá a la inscripción de la transmisión de la propiedad al vencedor en la subasta. Dicha transmisión no será firmada criptográficamente por el antiguo propietario (hipotecante) sino por el letrado de la Administración de Justicia del juzgado donde se haya tramitado el procedimiento. Seguidamente, el letrado firmará así mismo la cancelación de la escritura de constitución de hipoteca.

b) Ejecución extrajudicial, que es tramitada dentro de la propia cadena de bloques, sin intervención alguna de los tribunales de justicia. Se estructura en dos fases diferentes: en la primera, el acreedor enviará al Registrador General una solicitud de ejecución extrajudicial de hipoteca. Contendrá la referencia (*hash*) de la escritura de constitución de hipoteca, así como un extracto (en formato estandarizado, quizá, en XML) de los movimientos de la cuenta donde el deudor debía realizar la reintegración de su crédito, firmado criptográficamente por el banco. El Registrador General comprobará la existencia y el importe de la deuda, así como el impago de la misma. Si, en efecto, la deuda no ha sido pagada se iniciará la segunda fase del procedimiento, que consistirá en la *subasta algorítmica*⁶ del bien. El bien se inscribirá automáticamente en favor de aquella persona que hubiera ganado la subasta. La escritura de hipoteca será cancelada.

5.2. Anotaciones preventivas

Las anotaciones preventivas son asientos que reflejan la existencia de procedimientos judiciales o administrativos pendientes sobre la finca. Su estructura es la siguiente:

```
{
  "codigo_finca": // Código numérico identificador de la finca
  "hash_inscripcion": // Referencia a la inscripción del derecho sobre
    el que pende
  "prohibicion_disponer": // Booleano que toma el valor 1 si se prohíbe
    disponer del bien, y el valor 0, si no existe dicha
    prohibición
  "litispendencia": // Booleano que toma el valor 1 si el
    procedimiento es judicial, y 0 si el procedimiento
    es administrativo
  "codigo_procedimiento": // Código del tipo de procedimiento
  "referencia_procedimiento": // Referencia del procedimiento
  "disponente": { // Información sobre el tribunal o administración que ordena
    la práctica de la anotación
    certificado // Identifica al funcionario que ordena la
    práctica de la anotación
  }
}
```

El documento electrónico que solicite la práctica de la anotación deberá contener la información siguiente:

- Existencia o no de una prohibición de disponer impuesta al titular del bien o del derecho real de que se trate.
- Determinación de la naturaleza judicial o administrativa del procedimiento.
- Código del tipo de procedimiento pendiente (p.e., número 0, acción reivindicatoria; número 1, expropiación forzosa; número 2, acción de testamentaría, etc.).
- Referencia identificadora del procedimiento (p.e., "600/2010", "215/2015", etc.).

5.3.Cancelaciones

Las cancelaciones son aquellos asientos en cuya virtud un derecho real es eliminado del registro y se decreta la extinción de los efectos de un asiento anterior. La tipología de las cancelaciones es sencilla, dado que tan sólo contienen una referencia al asiento que va a cancelarse así como a la persona que va a decretar la cancelación del mismo:

```
{  
  "hash_asiento":           // Referencia del asiento (transacción) que se va a  
                           cancelar  
  "disponente": {         // Información sobre el que cancela el derecho  
    certificado             // Identifica al que cancela el asiento  
  }  
}
```

En principio, en virtud del *principio del consentimiento formal*, vigente también en ordenamientos de transmisión abstracta como el alemán, el titular de un derecho real puede disponer libremente de/cancelar el asiento electrónico en el que dicho derecho aparece reconocido. Por lo tanto, en el sistema registral que proponemos, establecemos como regla general, que el titular de cualquier derecho real está autorizado para cancelar válidamente el asiento en el que su derecho se reconoce.

En aquellas ocasiones en que el derecho quede extinto (remisión de hipoteca, consolidación de usufructo) como consecuencia de una transmisión *mortis causa* o como consecuencia de la perfección de una venta forzosa, el funcionario público que haya autorizado esos actos lo estará también para cancelar los asientos relativos a los derechos extinguidos.

5.4. Notas complementarias

La misión de las notas complementarias es agregar cierta información a un asiento ya existente. Pueden utilizarse, entre otras cosas, para indicar el pago del impuesto correspondiente a una inscripción o para señalar el cierre registral de una finca como consecuencia de su división en varias parcelas.

A modo de ejemplo, la nota correspondiente al pago de impuestos tendría la estructura siguiente:

```
{
  "código_finca": // Código numérico identificador de la finca
  "hash_inscripcion": // Hash de la inscripción cuyos impuestos han
                      // sido liquidados y pagados
  "admon_tributaria":{ // Identifica a la Administración tributaria que
                      // acredita el pago del impuesto
    certificado // Identifica la firma del funcionario que acredita
                // el pago del impuesto
  }
}
```

Mientras que en el caso de un cierre registral de la finca, la nota contendría tan sólo dos campos:

```
{
  "código_finca": // Código numérico identificador de la finca
  "catastro":{
    certificado // Identifica al funcionario del catastro que decreta el cierre
                // registral
  }
}
```

El cierre registral impide que se practiquen asientos en la finca correspondiente. Se decreta cuando la misma se ha extinguido como consecuencia de un proceso de fusión o de división en varias parcelas.

6. La finca registral

La *finca registral* es el concepto básico sobre el que debe estructurarse cualquier sistema de publicidad fundiaria. Puede ser definida como aquel *pedazo de terreno delimitado por una línea poligonal, perteneciente a un sólo propietario o a varios pro indiviso*. Casi todos los sistemas registrales occidentales se basan en el *principio de folio real*, a tenor del cual, a cada finca inmatriculada le corresponde un solo folio abierto en el Registro, en donde se toma razón de todos aquellos negocios jurídicos que tengan cualquier tipo de trascendencia real sobre la misma.

Dentro del protocolo Ethereum, proponemos que la finca registral sea representada por un *token no fungible* (NFT), identificado por la referencia catastral de la misma. Como ya se señaló en secciones anteriores, un *token* es una anotación electrónica que representa un

derecho subjetivo, y cuya creación, modificación y extinción corresponde a un contrato inteligente. Los *tokens*, al igual que los bienes, pueden ser de dos tipos: fungibles o no fungibles. A la primera clase pertenecen aquellos que se identifican por sus características generales y que pueden ser sustituidos por otros. A la segunda clase pertenecen aquellos individualizados por características únicas (dentro de Ethereum, una colección de metadatos), que los distinguen inequívocamente de los demás.

En nuestro modelo, cada finca vendría representada por un *token no fungible*, identificado por los siguientes metadatos:

```
{  
  "numero_de_finca": // Código numérico único identificador de la finca  
  "notas_de_referencia": [...] // Referencias a las inscripciones/transacciones que  
                               afectan a la finca  
}
```

La hoja abierta a cada finca está identificada por su código numérico identificador (p.e. puede usarse la referencia catastral) y el contenido de la misma viene conformado por las notas de referencia a cada uno de los asientos que crean, modifican o extinguen derechos reales sobre la finca, y que conforman el historial jurídico de la misma.

Cada una de las notas de referencia estará dotada a su vez de la estructura siguiente:

```
{  
  "codigo_del_asiento": // Código numérico correspondiente al asiento inscrito  
                        (0 para las inscripciones, 1 para las anotaciones  
                        preventivas)  
  "hash_del_asiento": // Hash de la transacción que contiene el asiento de que  
                      se trate  
  "numero_de_bloque": // Número de bloque en que se encuentra la  
                      transacción/asiento  
  "derecho_garantia": // Booleano que toma el valor 1 si se trata de un derecho  
                      real de garantía, y valor 0 en caso contrario  
  "rango": // Rango hipotecario (sólo para los derechos reales de  
            garantía)  
  "impuesto": // Booleano que indica si los impuestos han sido  
              pagados (número 1) o no (número 0)  
  "nota_impuesto": // Hash de la nota complementaria que acredita el pago  
                  del impuesto (sólo si han sido pagados)  
  "asiento_vigente": // Booleano que indica si el asiento sigue vigente  
                    (número 1) o si ha sido cancelado (número 0)  
  "hash_de_la_cancelacion": // Hash de la transacción que cancela el asiento  
                            (opcional)  
  "bloque_cancelacion": // Número de bloque donde se encuentra la cancelación  
                        (opcional)  
}
```


-El primero de los campos determina el tipo de asiento de que se trate: toma el valor 0, si se trata de una inscripción; el valor 1, si se trata de una anotación preventiva y el valor 3, si se trata de una nota complementaria.

-El segundo y tercer campos contienen el *hash* de la transacción/asiento a través del cual se ha producido la mutación jurídico-real y el número de bloque en que se encuentra.

-El cuarto campo determina si el derecho anotado o inscrito es un derecho real de garantía. En caso afirmativo, el siguiente campo contendrá el rango hipotecario del mismo, que es la preferencia que el mismo tiene respecto del resto de los derechos en el caso de la ejecución del bien. En principio, el rango hipotecario de cada uno de los derechos se determina en virtud de sus fechas, siguiendo la máxima de que los asientos anteriores en el tiempo son los mejores en derecho (*prior tempore potior iure*). Por medio de una inscripción específica, es posible permutar o posponer los rangos hipotecarios de derechos de los anteriormente inscritos.

-El octavo campo contiene un booleano que indica si el asiento sigue vigente o si, por el contrario, ha sido cancelado. En este último caso, los dos últimos campos contendrán una referencia al *hash* y al número de bloque del asiento/transacción de cancelación. Si, por el contrario, el asiento sigue vigente, los dos últimos campos quedarán vacíos.

Por medio de las notas de referencia es posible localizar dentro de la *blockchain* todos los asientos electrónicos referidos a la finca y con ello determinar quiénes fueron y son los titulares del derecho de propiedad y demás derechos reales existentes sobre la misma.

A la *blockchain* de Ethereum le correspondería determinar, pues, con absoluta precisión la situación jurídica de la finca. En cuanto a su descripción gráfica, proponemos que la misma corresponda al Catastro, tal y como sucede en múltiples legislaciones europeas. Los metadatos del *token* sólo deberían incluir un código numérico (referencia catastral) de la finca, que serviría de *path* (índice de búsqueda) dentro de la sección de almacenamiento (*storageRoot*) de la cuenta del Registrador General, que es donde se guarda toda la información relativa a los *tokens*, tal y como hemos visto con anterioridad.

Las operaciones n de alteración física o jurídica de la finca, deben venir acompañadas de su correspondiente reflejo registral. Las modificaciones deben ser realizadas por el propio titular, adjuntando la certificación catastral y, en su caso, las licencias administrativas correspondientes. Entre las principales **operaciones de modificación de fincas registrales**, podemos señalar las siguientes: inmatriculación, agrupación, agregación, división y segregación.

La **inmatriculación** es el procedimiento en cuya virtud se toma razón de la existencia de una finca dentro del Registro. Técnicamente, comprende dos operaciones: creación de un *token* no fungible, dotado de su propio número de referencia, e inscripción del derecho de propiedad en favor del primer titular de la finca.

La creación del *token* correspondiente a la nueva parcela tiene lugar por medio de una certificación expedida por un funcionario del Catastro, con la estructura siguiente:

```
{  
  "código_finca":           // Código numérico identificador de la finca  
  "catastro":{  
    certificado           // Identifica al funcionario del catastro que decreta la  
                          apertura de folio registral  
  }  
}
```

La **agrupación** tiene lugar cuando varias fincas se fusionan en una. En este caso, se procede a inmatricular la finca de resultado, y a practicar notas complementarias de cierre registral en cada una de las fincas de origen. Tanto el propietario, como los titulares de derechos reales de la finca de origen deberán prestar su consentimiento a la agrupación y determinar, por medio de las inscripciones correspondientes (de propiedad, de hipoteca, etc..), la nueva situación jurídica de las fincas de resultado.

En los procedimientos de **agregación**, una finca desaparece y su terreno se incorpora a otra vecina, que sigue conservando su número de referencia, y su funcionalidad como *token* no fungible. En la cuenta de la finca desaparecida se practicará una nota de cierre registral, mientras que en la finca ampliada deberán practicarse los asientos registrales que configuren la nueva situación jurídica de la misma y que deberán realizarse con la unanimidad de todos los titulares del dominio y demás derechos reales pendientes sobre ambas fincas.

La **división** es el procedimiento por el que se extingue una finca y se asigna su territorio a dos o más parcelas de nueva creación. Debe procederse al cierre registral de la finca de origen, a la creación de nuevos *tokens* no fungibles correspondientes a las nuevas fincas, así como a la inscripción de los derechos reales correspondientes a las nuevas fincas de resultado, también con la unanimidad de todos los titulares de las fincas de origen.

Finalmente, en la **segregación** de fincas, se crea una nueva finca a partir de un terreno segregado de la finca original, que sigue existiendo. Se practicará la inmatriculación de la nueva finca y por medio de nuevas inscripciones se determinará la situación jurídica de las fincas original y de resultado.

La organización y funcionamiento del Catastro, responsable de la descripción física (que no jurídica) de las fincas, queda fuera del alcance de este artículo, si bien en nuestra opinión nada obsta para que pueda funcionar también por medio de tecnología de protocolo distribuido. A fin de cuentas, el Catastro no es más que una base de datos gráfica, que describe la situación, extensión y límites de las fincas rústicas y urbanas y en cuya elaboración pueden utilizarse fuentes de muy diverso carácter, como la fotografía aérea realizada por drones o la geolocalización vía satélite.

7. Consideraciones finales

La Revolución Industrial 4.0, cuya característica principal es la íntima conexión entre el ciberespacio y el espacio físico ordinario, está comenzando a producir profundas transformaciones en el ámbito jurídico. En países como Estonia, cerca del 95% de los trámites administrativos se realizan de una manera electrónica y automatizada, entre ellos, el voto, la firma digital y aspectos relativos a la constitución de sociedades mercantiles.^{7 8 9}

En este artículo, siguiendo la línea marcada por Estonia, proponemos la adopción de un sistema registral completamente automatizado, que funcionaría de un modo descentralizado, utilizando procedimientos estrictamente algorítmicos y tecnología *blockchain*. La razón para adoptar un sistema descentralizado como el *blockchain* es que éste carece de un punto único de fallo y, por lo tanto, es menos susceptible de sufrir ataques informáticos de denegación de servicio o de *ransomware*¹ que tanto daño están haciendo en algunas administraciones públicas en España.¹⁰ Dentro de los diferentes protocolos de *blockchain* existentes, consideramos que Ethereum es idóneo para cumplir esta función, toda vez que -a diferencia de lo que sucede en el protocolo Bitcoin- su base de datos es capaz de almacenar información relativa a las cuentas de los usuarios (saldos, *tokens*, código ejecutable vinculado a la cuenta) y sus nodos están dotados de una máquina virtual capaz de ejecutar contratos inteligentes cuyo juego de instrucciones es Turing-completo.

En cuanto a los requisitos legales necesarios para implementar el sistema, se exige la existencia de un sistema de transmisión de la propiedad puramente abstracto y de un sistema de derechos reales basado en *numerus clausus*, como el alemán o el australiano, así como una reforma legislativa que atribuya efectos sustantivos y jurídico-civiles a los asientos electrónicos de este registro. Si pretendiéramos implementar en España un sistema similar sería necesario acometer las siguientes reformas legislativas y administrativas:

- a) Creación de una Dirección General de Nuevas Tecnologías dentro del Ministerio de Justicia, dotada de personal experto en Derecho Privado y Ciencias de la Computación, que sería la encargada de gestionar el funcionamiento del nuevo Registro de la Propiedad, ocupándose del mantenimiento de sus nodos, y estableciendo el código máquina y reglas de protocolo por medio de los cuales deberían los mismos funcionar y proceder a la práctica de los asientos registrales.
- b) Reforma de los artículos 2 de la Ley y 7 del Reglamento Hipotecarios que, en la actualidad, establecen sin ningún género de dudas un sistema de *numerus apertus*, en el que las partes de un negocio jurídico pueden crear derechos reales atípicos. El sistema propuesto en este artículo requeriría introducir en nuestra legislación una prohibición absoluta de creación de los derechos reales atípicos por parte de los particulares. Para ello sería necesario la modificación de los citados preceptos.
- c) Modificación de los artículos 18 y 19 de la Ley Hipotecaria, que regulan el procedimiento de calificación. El actual sistema registral español es un *sistema de inscripción*, en cuya virtud el Registrador de la Propiedad realiza un extracto de aquellas partes del documento presentado que tengan contenido jurídico-real y, si la calificación es positiva, procede a la inscripción del mismo. Proponemos que se abandone el *sistema de inscripción* y se adopte en su lugar el *sistema de encasillado*, propio del derecho alemán y del sistema registral propuesto por este trabajo, y en cuya virtud los asientos electrónicos cuya práctica se solicita deberían ajustarse a las plantillas descritas en los apartados anteriores y recoger exclusivamente los datos exigidos por las mismas.

- d) Eliminación, como regla general, del principio de titulación pública recogido en el artículo 3 de la Ley Hipotecaria, salvo para aquellos supuestos, como las transmisiones *mortis causa*, el ejercicio de acciones judiciales o la práctica de ventas forzosas, en los que sea necesario la intervención de fedatarios públicos.
- e) Atribución a los nodos del nuevo Registro de la Propiedad, y particularmente, al contrato inteligente denominado *Registrador General* de las facultades de calificación de documentos que en la actualidad están atribuidas a los Registradores de la Propiedad. Para ello sería necesario modificar, no sólo los ya citados artículos 18, 19 y 19 bis de la Ley Hipotecaria, sino aquellas partes de la misma relacionadas con la llevanza del Registro y, particularmente, sus Títulos IX a XII y XIV. Por el contrario, los preceptos de la Ley Hipotecaria que regulan los efectos sustantivos de los asientos registrales, en concreto, sus 42 primeros artículos (exceptuando, los artículos 3, 18, 19 y 19 bis, ya citados), no necesitarían ser reformados.
- f) Del mismo modo que la aprobación de la Ley Hipotecaria en el año 1861 no supuso la derogación del sistema de transmisión del título y el modo (típico de la legislación histórica castellana, y que fue finalmente el sistema asumido por el artículo 609 del Código Civil, en detrimento del sistema consensual propuesto por el proyecto de García Goyena del año 1851), la creación de este nuevo Registro tampoco debería suponer la introducción de cambios en esta materia. Los derechos sobre cosas se crearían y transmitirían fuera del Registro, y los efectos de este último serían de naturaleza fundamentalmente legitimadora, en línea con lo dispuesto en la actual redacción de los artículos 32 (inoponibilidad de lo inscrito), 34 (protección del tercer adquirente de buena fe) y 13 (inoponibilidad de los gravámenes no inscritos) de la Ley Hipotecaria.
- g) Aunque el sistema registral esbozado en este trabajo no contempla la incorporación de los negocios jurídicos causales a la cadena de bloques (principio de abstracción), en nuestra opinión, ello no debería suponer ningún inconveniente para su implantación en España, toda vez que el propio Código Civil español en su artículo 1277 establece que aunque *la causa no se exprese en el contrato, se presume que existe y que es lícita mientras el deudor no pruebe lo contrario*.

A nuestro juicio, es posible la coexistencia temporal de este nuevo modelo registral con otros anteriores, en línea con lo sucedido en el último siglo y medio en Australia, país cuyo territorio se divide, desde el punto de vista jurídico-civil, en dos áreas: la primera, en regresión, está sometida al tradicional sistema de *chain of title* (cadena de títulos) típico del *Common Law*. La segunda, que ha ido creciendo progresivamente y hoy abarca más del 95% del territorio nacional, está sometida al *sistema Torrens*.

Evidentemente, en este artículo nos hemos limitado -por razones de espacio- a diseñar un esquema, un armazón básico, de sistema registral. El ulterior desarrollo del mismo requeriría de la creación de un equipo multidisciplinar compuesto de programadores y juristas, cuyo cometido sería el de *traducir* al código máquina las disposiciones reguladoras de la constitución y transmisión de los derechos reales sobre los bienes inmuebles, así como la publicidad de los mismos. La implantación definitiva de sistemas de *publicidad fundiaria algorítmica*, similares al descrito en este artículo, supondrá una revolución en el ámbito jurídico-privado similar a la que tuvo lugar en el siglo XIX, cuando se crearon y estandarizaron sistemas registrales (en papel) en múltiples países occidentales como España, Alemania, Francia o Australia.

Notas

¹*Ransomware*: Dícese del virus especializado en secuestrar bases de datos, cuyo contenido sólo se libera a cambio del pago de un rescate.

²<https://landportal.org/resource/agriculture/land-and-natural-resources-rights-and-reforms-sudan> (consultado el 26 de diciembre de 2019)

³*Conditio iuris*: Condición necesaria para la eficacia de un negocio jurídico. La muerte de un testador es *conditio iuris* para que su testamento entre en vigor.

⁴*Tiempo universal de UNIX*: Número de segundos transcurridos desde el 1 de enero de 1970.

⁵*Tipos de sistemas de amortización: francés, alemán y americano* [consultado el 26 de diciembre de 2019] <https://www.rankia.cl/blog/mejores-depositos-a-plazo/3259729-tipos-sistemas-amortizacion-frances-aleman-americano>

⁶He aquí el ejemplo de una subasta programada en lenguaje solidity y diseñada para celebrarse de un modo automático dentro del *blockchain* de Ethereum: *Solidity by example* [consultado el 26 de diciembre de 2019] <https://solidity.readthedocs.io/en/v0.4.24/solidity-by-example.html>

⁷*Así se ha convertido Estonia en la primera nación digital de Europa, un Gran Hermano a tu servicio* [consultado el 26 de diciembre de 2019] <https://magnet.xataka.com/en-diez-minutos/asi-se-ha-convertido-estonia-en-la-primera-nacion-digital-de-europa-un-gran-hermano-a-tu-servicio>

⁸*Él está tras la transformación de la primera nación digital del mundo* [consultado el 26 de diciembre de 2019] <https://www.eltiempo.com/tecnosfera/novedades-tecnologia/el-hombre-tras-la-primera-nacion-digital-del-mundo-en-estonia-286318>

⁹*e-Estonia* [consultado el 26 de diciembre de 2019] <https://e-estonia.com/>

¹⁰ *Este es el virus que secuestra ayuntamientos españoles y también te puede afectar a ti* [consultado el 26 de diciembre de 2019] https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2019-10-04/virus-informatico-jerez-ryuk-encriptado-secuestro_2268988/

Bibliografía

ANTONOPOULOS, ANDREAS M. (2014). "Mastering Bitcoin: unlocking digital cryptocurrencies". O'Reilly Media.

BUTERIN, V. *Ethereum white paper. A next generation smart contract & decentralized application platform*. Disponible en: http://blockchainlab.com/pdf/Ethereum_white_paper-a_next_generation_smart_contract_and_decentralized_application_platform-vitalik-buterin.pdf (consultado el 18 de Octubre de 2019)

GOMÁ SALCEDO, E. (2005). *Instituciones de Derecho Civil, Común y Foral: Tomo I'*. Barcelona: Editorial Bosch.

GONZÁLEZ MENESES, M. (2017). "Entender *blockchain*. Una introducción a la Tecnología de Registro Distribuido". Navarra: Thomson-Reuters Aranzadi.

KELSEN, H. (2000). *Teoría pura del derecho*. México: Porrúa.

NAKAMOTO, S. *Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system*. Disponible en: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf> (consultado el 26 de agosto 2019)

ROCA SASTRE, R. M. (2008). *Derecho Hipotecario: Tomos I al IV*. Barcelona: Editorial Bosch.

RODRÍGUEZ ABRIL, R. (2019). "Sobre la legitimación criptográfica de firmas en los contratos". *Derecom*, 27, 112-139. <http://www.derecom.com/derecom> (consultado el 23 de octubre 2019)

RODRÍGUEZ OTERO, L. (2005). *Elementos de derecho hipotecario: Tomo I*. Madrid: Ediciones Jurídicas DIJUSA S.L..

WOOD, G. *Ethereum: A secure decentralised generalised transaction ledger*. Disponible en: <https://gavwood.com/paper.pdf> (consultado el 18 de octubre 2019)