

Blockchain y la Directiva marco del agua (DMA). El caso de España

The Blockchain and the European Water Framework (EWF) Directive. Spain case study

Iván ZAMARRÓN MIEZA

Universidad Europea (España)

iv.zamarron@gmail.com

Gonzalo FERNÁNDEZ SÁNCHEZ

Universidad Europea (España)

gonzalo.fernandez@uem.es

Elena BULMER SANTANA

Manchester University (Reino Unido)

elena_bulmer@hotmail.com

Recepción: Noviembre 2019

Aceptación: Abril 2020

RESUMEN

La Directiva Marco del Agua se centra en la corresponsabilidad y gestión adaptativa para la integración Planificación Hidrológica-Participación Pública en Demarcaciones Hidrográficas. Partimos del análisis de alegaciones en ‘Conocimiento y Gobernanza’ al Plan Hidrológico del Júcar, ciclo 2015-2021. Hemos identificado el potencial de los metavalores de Blockchain en la Participación Activa vinculada al caso prioritario de seguimiento de caudales ecológicos concertados. Un panel de expertos ha analizado cualitativamente nuestra prueba de concepto basada en ETHEREUM (Máquina Virtual y Contratos Inteligentes), abriendo una discusión clave sobre los retos y restricciones para la adopción de Blockchain en la Administración Pública Hidráulica española.

Palabras clave: Cuenca; Gobernanza; Blockchain; Descentralización; Token.

Clasificación JEL: H11.

ABSTRACT

The Water Framework Directive focuses on co-responsibility and adaptive management for the integration of Hydrological Planning-Public Participation in River Basins. We start from the analysis of allegations in ‘Knowledge and Governance’ to the Júcar Hydrological Plan, 2015-2021 cycle. We have identified the potential of Blockchain meta-values in Active Participation linked to the prioritized case of planned ecological flows monitoring. A panel of experts has qualitatively analyzed our proof of concept based on ETHEREUM (Virtual Machine and Smart Contracts), opening a key discussion on the challenges and constraints envisioned for the adoption of Blockchain in the Spanish Public Hydraulic Administration.

Keywords: Watershed; Governance; Blockchain; Decentralization; Token.

JEL Classification: H11.



1. LA NUEVA PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA

1.1 Espíritu de la Directiva Marco del Agua, Unión Europea (DMA)

La ‘Nueva Planificación Hidrológica’ impulsada por la Directiva Marco del Agua (DMA) ha tenido unas consecuencias positivas en la incorporación de actores en la toma de decisiones de este tipo de planificación dentro de las Demarcaciones Hidrográficas de los Estados miembros de la Unión Europea. Tal y como mostraron Zamarron et al. en 2017, desde el ámbito de la gestión de sistemas presa-embalse, esta toma de decisiones está caracterizada por su naturaleza multicriterio y alcance grupal (‘decisión en grupo’), representando la palabra ‘consenso’ o ‘concertación’ el motor de todo el proceso decisonal, liderado a su vez por el Organismo de cuenca, y en el que la aparición en años recientes de nuevas estructuras participativas como la Mesa de Participación, Foro de Agentes Interesados, Comisión de Planificación Hidrológica y Participación Ciudadana o el Consejo del Agua de la Demarcación son reflejo de los requisitos normativos en torno a la integración Planificación Hidrológica (PH)-Participación Pública (PP) (Zamarron et al., 2017: 217-230).

61

España ya atesoraba una tradición consolidada de Planificación Hidrológica, en la que había cabida -especialmente con la promulgación de las últimas normas españolas, en las dos últimas décadas del siglo pasado- para la Participación Pública en las labores de desarrollo y monitorización del Plan Hidrológico de cuenca. En el caso particular de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (DHJ) -en nuestra investigación, empleada como ‘demarcación objetivo’ para el análisis de la integración PH-PP mencionada- se observa una significativa madurez en materia de Información Pública, Consulta Pública y Participación Activa, si bien, especialmente en este tercer nivel de participación -el más alto, complejo y de más difícil consecución de los tres indicados que integran el conjunto de la Participación Pública- existen claras oportunidades de mejora.

1.2 Integración Planificación Hidrológica-Participación Pública. Caso del Júcar.

Nuestro estudio exhaustivo relativo a la integración PH-PP en España, tomando como referencia la Demarcación Hidrográfica del Júcar (DHJ) en su segundo ciclo de planificación 2015-2021, ha puesto de manifiesto deficiencias u oportunidades de mejora (retos, en esencia), en cuatro (4) categorías de situaciones: (i) Participación Pública; (ii) Gestión Documental; (iii) Gestión del Cambio; y, (iv) Monitorización del Plan. Aunque existen problemas (tal y como se deduce de nuestro análisis de las propuestas, observaciones y sugerencias al desarrollo del Plan Hidrológico de cuenca (PHc) en materia de ‘Gobernanza y Conocimiento’), sí se ha detectado el patrón consistente en la presencia de los mencionados cuatro grupos temáticos, siendo el primero, el de Participación Pública (críticas en torno a la propia participación de los actores en el proceso de planificación) el que más destaca en las alegaciones. Debe aclararse que no se han analizado las centenas de alegaciones recibidas por el Organismo de cuenca durante

el proceso de desarrollo del Plan Hidrológico 2015-2021, sino las que obedecen al propósito de la presente investigación: la integración Planificación Hidrológica (PH)-Participación Pública (PP), desde una perspectiva de toma de decisiones de tipo multicriterio, en grupo. De esta forma, 32 han sido las alegaciones analizadas en profundidad permitiendo la detección de ‘impactos’ en las cuatro categorías más arriba apuntadas.

Tal y como se desprende del análisis efectuado, la capacidad por parte de la Oficina de Planificación Hidrológica (OPH) en una Demarcación (especialmente en el caso de cuencas intercomunitarias), de facilitar el proceso de mediación con agentes que habitualmente presentan lecturas dispares sobre el mismo problema a resolver, es el eje central de la gestión de la toma de decisiones; jugando su juicio o criterio de experto un papel crítico en todo el proceso. Un juicio o criterio de experto que, tal y como se deriva del análisis detallado de las alegaciones vinculadas con ‘Gobernanza y Conocimiento’ (que ha generado cuatro categorías de alegación: Participación Pública, Gestión Documental, Gestión del Cambio y Monitorización del Plan), fue discutido o puesto en duda por ciertos actores a lo largo del ciclo de planificación 2015-2021, especialmente en el bienio 2013-2015, cuando se dieron los trabajos de desarrollo del PHc (Documentos Iniciales -DI-; Esquema de Temas Importantes -ETI-; y, Proyecto de Plan Hidrológico de cuenca -ProyPHc-).

1.3 Gobernanza del Agua basada en Tecnologías Distribuidas

Considerando el hecho de que la toma de decisiones en entornos tan complejos como los de Planificación Hidrológica de cuenca (sobre todo en cuencas intercomunitarias, como el caso de la DHJ), requieren de decisiones informadas, basadas en una adecuada gestión y gobierno de los datos, de la información y del conocimiento; se detecta la necesidad de incorporar soluciones con una importante componente tecnológica para solventar los problemas de Participación Pública, Gestión Documental, Gestión del Cambio y Monitorización detectados. Beneficios esperados en la Gestión del Agua, a nivel de cuenca, como el aumento de la transparencia, visibilidad de la representatividad de actores, impulso a la trazabilidad del cambio, mayor automatización o agilización de ciertas decisiones de validación o verificación, apuesta por el inmutabilidad y auditabilidad del registro para todo el procedimiento, seguridad en el tratamiento de información sensible, monitorización continuada de los pactos, acuerdos o conciertos alcanzados (monitorización por indicadores de rendimiento vinculados a variables de la Gestión de Agua: presiones, usos, demandas, objetivos ambientales, etc.), automatización del control integrado de cambios (actualización o ajuste de versiones de documentos), reducción de los tiempos de respuesta ante ciertos escenarios de gestión, etc., denotan la necesidad de una arquitectura tecnológica óptima que mejore la efectividad de un ‘modelo de gobierno’ hoy bien especificado y normativizado (DMA; Texto Refundido Ley de Aguas -TRLA-; Reglamento de Planificación Hidrológica -RPH-; e, Instrucción de Planificación Hidrológica -IPH-).



En ningún caso pretendemos discutir el papel de facilitación de la mediación por parte de la Oficina de Planificación Hidrológica (OPH) de la DHJ, pero sí apuntar a aspectos del ‘modelo de gobierno’ (‘Gobernanza’, término ya generalizado en la Gestión del Agua, a escala internacional) sintomáticos de una necesidad de mejora en lo que atañe a la integración Planificación Hidrológica – Participación Pública. No cabe duda de que estas oportunidades de mejora quedan condicionadas por la disponibilidad de recursos materiales, tecnológicos, humanos y de conocimiento de la Demarcación Hidrográfica de turno, siendo las partidas presupuestarias para medidas en el ámbito de ‘Gobernanza y Conocimiento’ no precisamente las más cuantiosas en los Programas de Medidas (PdeM) de cuenca aprobados en los distintos palanes (si bien se ha hecho un esfuerzo por incrementar la dotación presupuestaria en este ámbito del PdeM dentro del plan).

En conclusión, reconociendo el impulso continuado de la DHJ en materia de sistemas de información del Agua (extensible al resto de cuencas en España), como soporte a la toma de decisiones en Planificación Hidrológica -al poner a disposición de los actores intervinientes datos e información confiable, actualizada, a tiempo real y accesible- los retos todavía existentes apuntan al desarrollo de sistemas de gestión de la información de tipo multi-plataforma y multi-dispositivo, perspectiva bajo la cual, las tecnologías basadas en Blockchain o Tecnologías Distribuidas (DLT, *Distributed Ledger Technology*) suponen una oportunidad nada desdeñable por el Gestor Público, tal y como avanzamos en el siguiente epígrafe.

63

2. TECNOLOGÍAS DISTRIBUIDAS (DLT) Y ADMINISTRACIÓN PÚBLICA

2.1 Retos en la adopción de Blockchain para Gobierno Público

Del estudio de Hileman y Rauchs en 2017 se desprende que, en el ámbito de la Administración o Gobierno Público, los agentes del sistema central bancario (Bancos Centrales) tiene una mayor conciencia de las dificultades vinculadas a la adopción de tecnologías DLT, en comparación con los restantes Organismos Públicos no vinculados al ámbito bancario-financiero público (entre los que se encuentra la Administración Pública Hidráulica, objeto de nuestra investigación). Los retos en los que están poniendo más atención los Entes Públicos son los siguientes: (i) Inmadurez de la Tecnología; (ii) Marco regulatorio incierto; (iii) Potenciales problemas con las leyes de protección de datos; (iv) Seguridad; (v) Escalabilidad y rendimiento; (vi) Fomento de la participación (incentivos); (vii) Confidencialidad; (viii) Desconocimiento de los costes y beneficios; (ix) Resistencia al cambio; (x) Pérdida de control; y (xi) Inexistencia de buenos ‘casos de uso’ (Hileman et Rauchs; 2017: 67-77).

En principio, la ‘inmadurez tecnológica’ es el gran escollo, con diferencia, desde la perspectiva de todas las entidades públicas -especialmente en los Bancos Centrales-, seguido de la ‘incertidumbre en el marco normativo’; mientras que, la menor preocupación se centra en torno a la disponibilidad de ‘casos de uso’ efectivos, alineados

con necesidades reales del ámbito público (demostrativo de una exploración y experimentación previas abundantes). La incertidumbre en torno al aspecto legal surge de la posible necesidad de cambiar el marco normativo actual, o introducir nuevas leyes (esta es la gran preocupación de las Instituciones Públicas no financieras).

Curiosamente, la ‘pérdida de control’ del lado del organismo público no aparece como una preocupación central, como podría deducirse de la pérdida de poder central en la administración de los servicios públicos, resultado del efecto descentralizador de Blockchain. Muy probablemente, estas instituciones son muy conscientes del hecho de que la solución descentralizadora que introduce Blockchain todavía requiere de una componente de centralización definida y gobernada desde el lado del organismo público. El obstáculo de la ‘confidencialidad’ es el reto en torno al cual hay una mayor diferencia de percepción (para los Bancos Centrales es un aspecto crítico, mientras que para los organismos restantes su importancia es sensiblemente menor). Una situación parecida se da con el aspecto de ‘seguridad’, sobre el que hay una mayor preocupación en el Sistema Bancario.

64

Los aspectos de ‘escalabilidad’ e ‘incentivos’ generan igualmente una mayor inquietud en los Bancos Centrales, mientras que la ‘resistencia al cambio’ se ve con mayor preocupación en los organismos públicos restantes. Finalmente, la relación coste-beneficio parece ser más incierta en los Bancos Centrales. En conclusión, como se ha comentado previamente, el nivel de preocupación ante los obstáculos identificados es mayor en el Sistema Central Bancario que en Instituciones Públicas del ámbito no financiero.

En cuanto al desarrollo de redes sólidas, cohesionadas y participativas, los Bancos Centrales muestran una mayor sensibilidad de cara a alinear incentivos entre los diferentes actores del sistema con la finalidad de asegurar su implicación y compromiso. De hecho, varios Bancos Centrales en la encuesta de Hileman y Rauchs de 2017 apuntaron a la relevancia de asegurar la colaboración entre agentes autónomos para aprovechar el máximo potencial de la tecnología (considerando la creación de dichas ‘redes’ como un reto significativo).

Sin embargo, las restantes instituciones públicas no vieron tan importante este aspecto, opinión que puede ser indicativa de que piensan desarrollar soluciones DLT para su área, departamento o función específica, que no conectan con otros ámbitos de la Administración Pública mediante una plataforma o infraestructura compartida. Ambos tipos de agentes públicos reconocen que, para asegurar la participación, todos los actores implicados en la red tienen que perder parte de su nivel de control deseado.

A parte de estos 11 retos principales, los Organismos Públicos encuestados por Hileman y Rauchs en 2017 pusieron al descubierto cuatro categorías adicionales de desafíos, con



sus propios retos específicos (Hileman et Rauchs; 2017: 74-77). En la categoría de ‘Gobernanza’, se apuntó a tres retos concretos: (i) la necesidad de ajustar el modelo de gobierno; (ii) la necesidad de definir mecanismos de supervisión; y (iii) que el ‘ledger’ (registro) conecte con la realidad con la que interactúa.

En la categoría de ‘Inmutabilidad’, la necesidad puntual -posible- de revertir o deshacer transacciones, como es el caso de la corrección de errores, es el reto adicional identificado en esta área. En cuanto al aspecto de ‘interoperabilidad’, dos son los retos adicionales identificados: (i) estandarización técnica; y, (ii) la necesidad de desarrollar protocolos de comunicación para la conexión de ‘ledgers’ separados. La ‘interoperabilidad’ es para muchas agencias públicas el gran caballo de batalla, la necesidad de un ‘protocolo compartido’, dado que las soluciones DLT nunca consistirán en un único ‘ledger’, sino en un sistema de ‘ledgers’ interconectados que requerirá de un protocolo compartido para facilitar la comunicación entre sistemas y redes.

Por último, en la categoría de ‘concienciación’ en el ámbito público, cuatro son las grandes deficiencias identificadas por los Organismos Públicos encuestados en el estudio mencionado: (i) una Agenda DLT inapropiada (estrategia incoherente); (ii) ausencia de voluntad política; (iii) falta de recursos financieros (inversión) para el desarrollo de prototipos, pruebas (‘testing’) e implementaciones; y, (iv) ralentización en la adopción de nuevas tecnologías por parte del Sector Público. En cuanto al segundo punto -reducida voluntad o interés político-, ciertos países adolecen de una estrategia o agenda coherente en el sentido de ‘cómo’ se empleará la tecnología Blockchain al más alto nivel, lo que conlleva, habitualmente, limitación presupuestaria para el desarrollo de iniciativas DLT

65

2.2 Ausencia de evidencia empírica, el principal escollo

Hemos analizado en profundidad el trabajo del equipo de investigadores Batubara, Ubacht y Janssen, publicado en 2018, quienes muy recientemente realizaron una revisión sistemática de la literatura científica sobre Blockchain aplicado al Sector Público (e-Government) y presentaron sus hallazgos también recientemente, en mayo de 2018, en la *Novena Conferencia Internacional sobre Gobierno Digital*, en Nueva York (USA) (Batubara et al.; 2018: 1-9).

Partieron de la escasa adopción y uso de Blockchain en el contexto de la Administración Pública Electrónica (‘e-Government’, o uso de los Sistemas de Información para la mejora del Sector Público, de acuerdo a la definición de WorldBank, 2015), tanto del lado de la aplicación práctica, como de la investigación científica. Y, efectivamente, los resultados de su estudio pusieron de manifiesto que dicha adopción es francamente limitada, con una ausencia de evidencia empírica clara. El foco del e-Government ha pasado de estar en la componente tecnológica a estarlo en la ‘transformación del modelo operativo y organizacional’, por lo tanto, en la ‘evolución’ hacia las relaciones entre Gobierno y restantes agentes de la Sociedad. En este contexto, Blockchain,

potencialmente, mejora los procesos de entrega de servicios públicos e incrementa la confianza hacia el Sector Público.

Estos tres autores recogieron una muestra de 354 artículos relacionados con Blockchain y e-Government, hasta el 30 de diciembre de 2017. A través de un proceso de depuración, la muestra original quedó significativamente reducida a 21 artículos de relevancia (tres en 2016 y 18 en 2017). Se empleó el sistema de categorización de Nunamaker, de 1990, relativo a la clasificación de las ‘etapas del proceso de investigación’ –‘marco conceptual’, ‘arquitectura del sistema’, ‘análisis y diseño del sistema’, ‘desarrollo del sistema (prototipo)’ y ‘evaluación del sistema’ (Nunamaker et al., 1990: 89-106). En paralelo, se empleó otro sistema de clasificación, en este caso el de Tornatzky, también de 1990, para el estudio del grado de adopción tecnológica, un sistema que clasifica las decisiones de adopción de innovación tecnológica en tres dimensiones principales: ‘Tecnológico’ (características tecnológicas relevantes), ‘Organizacional’ (aptitud y actitud para la adopción, estructura de gestión y tamaño) y ‘Contexto Ambiental’ (estructura sectorial, infraestructura tecnológica soporte y marco normativo) (Tornatzky et. al, 1990).

66

Sanidad, Educación, ‘Smart Cities’, Logística, Identidad Digital, e-Voting y Fiscalidad, fueron, en ese orden, las aplicaciones más relevantes de Blockchain en e-Government detectadas por los investigadores; destacando el ‘enfoque conceptual’ de la mayoría de las publicaciones, sin vínculo alguno con implementaciones o evaluaciones reales en un contexto empírico, práctico o de prueba. Se demuestra así que la escasa penetración, que hasta el momento ha tenido esta tecnología en el ámbito público, se aborda desde un enfoque más bien puramente teórico, en lugar de una visión empírica, hoy necesaria.

Especialmente interesantes son las conclusiones relativas a los retos en las tres dimensiones que los propios autores identificaron basados en el trabajo de Tornatzky de 1990:

- **Tecnológico**

La componente tecnológica es la más visitada por los estudios previos, destacando principalmente los retos de ‘seguridad’, ‘escalabilidad’, y ‘flexibilidad’. Curiosamente, una de las cualidades de mayor robustez, supuestamente, de Blockchain -su ‘seguridad’- es puesta en duda por no pocos autores, que han centrado su crítica en los aspectos de ‘ciberseguridad’, confianza ciega en desarrolladores, legisladores, marco normativo y Público General, y, compensaciones seguridad-rendimiento del sistema.

Esencialmente, los atributos de ‘escalabilidad’, ‘usabilidad’, ‘interoperabilidad’, ‘eficiencia computacional’ y ‘tamaño del almacenamiento’ vertebran la discusión de los autores en la dimensión tecnológica de Blockchain aplicado a e-



Government. Indudablemente, la ‘inmadurez’ de la tecnología condiciona la presencia de estos retos tecnológicos de cara a su adopción, si bien, se abre un mar de posibilidades de estudio e investigación en esta línea.

Finalmente, cabe destacar la propuesta de Hou en su trabajo de 2017, identificada por los autores, para desarrollar una plataforma-aplicación de tipo general que sirva de base para ulteriores aplicaciones específicas de Blockchain, acelerando así el grado de adopción de esta tecnología en el Sector Público (Hou, 2017: 1-4).

- Organizacional

Una adecuada adopción de Blockchain con fines de e-Government llama, inexorablemente, a nuevos ‘modelos de gobernanza’ desde un punto de vista organizacional, con la ‘aceptabilidad’ por parte de las Sociedad como gran reto en esta vertiente.

La necesidad de cooperación entre múltiples actores interesados (‘stakeholders’) a distintos niveles de la Administración Pública (Local, Regional y Estatal) exige una adaptación o transformación del modelo de gobierno e institucional destinado al auténtico aprovechamiento de los beneficios potenciales ya identificados, derivados eminentemente de la naturaleza distribuida de Blockchain. Esta tecnología no se ha ganado, todavía, la confianza en el ámbito público, es decir, su ‘aceptabilidad’ hoy es baja. En este sentido, la aptitud de los sistemas de gobierno público actuales y la actitud de los agentes implicados en la toma de decisiones públicas, en relación a la adopción de Blockchain, son reducidas.

67

Cabe destacar el trabajo liderado por Engelenburg y publicado en 2017, en el que se tradujeron regulaciones públicas en ‘reglas de negocio’, la cuales, cuando son complejas llevan a escenarios de incertidumbre -y, por lo tanto, de riesgo- en el ámbito decisional público [185].

- Contexto Ambiental

En esta dimensión, Batubara et al. publicaron en 2018 que los aspectos normativos (Legislación) es el auténtico factor determinante de cara a la adopción de Blockchain en el Sector Público (Batubara et al.; 2018: 1-9). La base legal sirve la certeza al usuario en torno a sus derechos y obligaciones, y las de terceras partes implicadas en acuerdos dentro del ámbito público, así como la identificación de los agentes responsables de dirimir las posibles disputas.

Por otro lado, la ‘brecha digital’ (escasa infraestructura de internet, ausencia de contenidos culturalmente relevantes, bajo nivel educativo y reducidas o

inexistentes habilidades tecnológicas), en países sub-desarrollados y países en vías de desarrollo, refuerza significativamente la baja aceptabilidad mencionada.

Especialmente interesantes son las reflexiones de Batubara et al. relativas a las ‘futuras líneas de investigación’ en lo concerniente a Blockchain aplicado a e-Government (Batubara et al.; 2018: 1-9). Estas ideas aclaran el debate existente en la comunidad de práctica y de investigación, y establece el marco adecuado para desarrollos futuros. A continuación, se realiza una síntesis de las mismas:

- La ausencia de evidencia empírica es el auténtico generador de dudas, falta de claridad o confusión en cuanto a la realidad práctica de Blockchain aplicado al ámbito decisional público. En esencia, hay una demanda clara de base empírica para que los distintos Gobiernos tomen una decisión ‘informada’ sobre la conveniencia, o no, de la aplicación de Blockchain a sus respectivos modelos de gobierno.

En particular, Charters et al. (2009) invitan a la comunidad científica a desarrollar una investigación empírica que centre su atención precisamente en los aspectos que hoy más motivan a la comunidad de práctica; lo que habla de una falta de encaje entre ambas comunidades (Charters et al., 2009: 73-80).

- Los retos tecnológicos ya identificados (‘seguridad’, ‘escalabilidad’, ‘interoperabilidad’ y ‘flexibilidad’) llevan inmediatamente a la necesidad de desarrollar un ‘estándar tecnológico de Blockchain’ en el que las variables de diseño relativas a la arquitectura del sistema estén alineadas con las necesidades y requisitos propios de la toma de decisiones en el Sector Público.

Hasta el momento, no se ha desarrollado una guía o marco para la evaluación de la viabilidad de Blockchain como solución de e-Government para problemas específicos del ámbito público. Los criterios de ‘usabilidad’, ‘eficiencia en costes’ y ‘confiabilidad’, deben ser los tres pilares que sostengan dicha guía o marco, pendiente de desarrollo.

Además, sin una clara comprensión del ‘hecho decisional público’, en el que se darían las potenciales aplicaciones específicas de Blockchain, es imposible que esta tecnología sirva a necesidades reales y, por lo tanto, mejore los procesos de gestión de la Administración Pública. Todos estos aspectos deben conducir a la formulación de unos ‘principios de diseño’ derivados de las dimensiones Tecnológica, Organizacional y de Contexto Ambiental características del ámbito público.

En este sentido, el desarrollo de una ‘plataforma general’ que asegure los atributos de ‘seguridad’, ‘escalabilidad’, ‘interoperabilidad’, ‘confiabilidad’ y

‘flexibilidad’, permitiría el despliegue posterior de soluciones de diseño -a nivel de arquitectura- específicas para problemas u oportunidades de e-Government concretas. Esencialmente, los Gobiernos están buscando una ‘arquitectura estándar’ o ‘de referencia’ que los guíe de cara a aplicaciones específicas.

- Un aspecto apasionante, que se deriva de la adopción de Blockchain por parte de los Gobiernos, es la consecuente ‘transformación organizacional’ a la que conduce, en sus vertientes de: Estrategia, Estructura, Procesos y Cultura.

La gestión de esta ‘transformación’ implica la cooperación y el compromiso por parte de todos los agentes interesados, asegurando una lectura adecuada y compartida en torno a las implicaciones socio-técnicas derivadas de la adopción de Blockchain para e-Government.

De hecho, una de las prioridades en esta línea debe ser el desarrollo de un marco normativo para el uso conveniente de Blockchain en el ámbito público, cuidando el fino equilibrio que debe existir entre regulación e innovación tecnológica.

- El objetivo de ‘infraestructura compartida’ es crucial para la creación de un ‘ecosistema’ que apoye la implementación de aplicaciones específicas de e-Government basadas en Blockchain. Detectaron Batubara et al. en 2018 que Blockchain evolucionará inevitablemente a una ‘tecnología de propósito general o global’ adaptable a situaciones específicas, segura y escalable; facilitando el control por parte de la Administración Pública y reduciendo significativamente los costes de los procesos de gestión vinculados. Sin embargo, todavía está en cuestión cómo se dará esta evolución, y cómo será gestionada (Batubara et al.; 2018: 1-9).

69

2.3 La perspectiva europea: EU Blockchain Observatory & Forum

La Unión Europea, a través de su EU Blockchain Observatory & Forum, ve un serio escollo en el desarrollo de la infraestructura precisa para una adecuada adopción de Blockchain a efectos de Gobierno Público en entornos electrónicos (e-Government), como así lo justifican sendos estudios publicados por Lyons et al., en 2018. Si los Gobiernos quieren desarrollar soluciones basadas en Blockchain de forma autónoma, no deben olvidar que este tipo de tecnología está en continuo cambio y transformación, por lo que la existencia de estándares o claros ejemplos de buenas prácticas es prácticamente nula. La plataforma ideal debería ser aquella que facilita su uso por parte de muy diversas Agencias Públicas, siendo conducente a la compartición de datos y creación de procesos interoperables entre agencias.

Si bien la ‘experimentación’ -siempre necesaria- en Blockchain puede llegar a ser productiva, no es improbable consumir un tiempo y recursos excesivos en ‘largos ciclos de identificación de casos de uso, construcción de pruebas de concepto y selección del

proveedor'. Además, esta problemática se multiplica o atenúa si las Agencias Gubernamentales trabajan de forma autónoma en soluciones Blockchain 'aisladas' ('efecto silo'), en lugar de trabajar de forma conjunta de acuerdo a una visión o acercamiento compartido.

Sin embargo, hay maneras de solventar esta problemática: dos extremas (no recomendables) y una intermedia (la recomendada). El Gobierno podría aplicar un enfoque 'top-down', desarrollando una plataforma Blockchain para todos los Organismos Públicos y exigir su uso. Este acercamiento a la adopción de Blockchain facilitaría significativamente el proceso de 'estandarización', pero, conlleva el riesgo de no solventar las especificidades presentes en las necesidades de cada Agencia Pública, o de 'encerrar' al Gobierno con un proveedor único o determinada tecnología (por lo tanto, perdiendo la oportunidad de nuevos desarrollos más efectivos). Sin embargo, también, el Gobierno podría permitir a sus Agencias Públicas la libre experimentación, de forma autónoma, construyendo plataformas Blockchain específicas de cada Ente Público; una libertad cuyo contrapeso es el riesgo de 'fragmentación' de las plataformas, y especialmente del conocimiento (enfoque 'bottom-up').

70

Pero, entre ambos extremos hay una 'estrategia intermedia' que es la 'Plataforma Blockchain como Modelo de Servicio' (BPaaS, 'Blockchain Platform as a Service Model'), en esencia, una infraestructura compartida, flexible, en la nube, que alberga distintos protocolos y herramientas de desarrollo, así como un ambiente integrado de desarrollo y operaciones. Esta estrategia permitiría a las distintas Agencias Públicas de un mismo Gobierno-país evaluar ágilmente y seleccionar la tecnología óptima, construir las 'pruebas de concepto' y testar los resultados; y, además, implicaría unos costes claramente menores (en comparación con Equipos IT propios o Proveedores seleccionados vía R.F.P. o similar). Otra ventaja añadida de esta estrategia es la aceleración de la adopción tecnológica, al reducir significativamente los ciclos de prueba y error. La rapidez y flexibilidad en la experimentación empírica de bajo coste permitiría aprender sin tener que incurrir en altas inversiones, propiciando un aprendizaje fácilmente compatible entre Agencias Públicas de cara a asegurar la interoperabilidad del sistema.

Finalmente, desde el punto de vista normativo o legal, EU Blockchain ha dado las claves en torno a la 'reglamentación' de la adopción de Blockchain en el ámbito europeo, con fines de e-Government. Lógicamente, el efecto 'descentralizador' de Blockchain induce nuevos paradigmas y modelos de negocio que, a su vez, conllevan una serie de retos en lo regulatorio. Las alianzas público-privadas es un camino apropiado de cara a la adopción de Blockchain en una región, Europa, especialmente acostumbrada a este tipo de alianzas para el desarrollo de iniciativas muy diversas en otras áreas o dominios. El despliegue de Blockchain provoca la creación de amplios 'mercados electrónicos', por lo que la configuración de 'consorcios público-provados' de tipo 'geográfico' o 'sectorial' es una adecuada política de promoción del uso de Blockchain en el contexto europeo.



Pero, aparte de las políticas de promoción y desarrollo, está la cuestión normativa asociada a Blockchain, especialmente en lo concerniente a la normativa de ‘protección de datos’ (GDPR, ‘General Data Protection Regulation’) aunque, obviamente, Blockchain puede interferir en aspectos más mundanos del ámbito normativo o regulatorio. Muy probablemente, la discusión en torno al ‘status legal’ de los ‘Contratos Inteligentes’ (‘Smart Contracts’) represente el corazón del debate relativo a la cuestión normativa asociada a Blockchain. En este sentido, hay muchas preguntas no respondidas todavía en torno a la validez legal de este tipo de contratos, lo que ha generado un clima de incertidumbre que puede traducirse en una cuestión bien elocuente: ¿puede el ‘código electrónico’ convertirse en ley? A continuación, se presentan las principales cuestiones legales, hoy abiertas y sin respuesta, que la comunidad internacional de práctica e investigadora se plantea en torno a la adopción de Blockchain en el ámbito de e-Government:

- ¿Cómo aplicar los términos de un ‘Smart Contract’ en un sistema Blockchain, en relación con sus ‘contrapartes’ en la vida real?,
- ¿Cómo manejar litigios y apelaciones en el marco de un acuerdo automatizado y auto-ejecutable?,
- ¿Cómo proceder cuando se detecta una falla en el código?,
- ¿Hasta qué punto los registros basados en Blockchain son legalmente vinculantes?,
- ¿Cómo abordar la adopción de nueva legislación relativa a la definición de responsabilidades en el uso de Blockchain?,
- ¿Cómo afrontar la necesidad de aclaración y/o adaptación de los actuales marcos de ámbito europeo (eIDAS –‘Electronic IDentification, Authentication and trust Services’ o ‘Sistema Europeo de Reconocimiento de Identidades Electrónicas’-, entre otros), y,
- ¿Cómo plantear el desarrollo de nuevos reglamentos para el aprovechamiento de ‘casos de uso’ específicos?

71

Actualmente, se están evaluando los obstáculos presentes en el ámbito legislativo de cara a la adopción de no sólo Blockchain/DLT sino de otras tecnologías ‘disruptivas’ que jugarán un papel crucial en la nueva economía, a escala internacional; en particular: Internet of Things, IoT (Internet de las Cosas), Artificial Intelligence, AI (Inteligencia Artificial) y, por supuesto, Blockchain.

3. HALLAZGOS DE NUESTRA EXPERIMENTACIÓN CON BLOCKCHAIN EN AGUAS. CASO DEL JÚCAR (ESPAÑA).

3.1 Caso de uso de seguimiento de caudales ecológicos concertados

Nuestra investigación en torno a Blockchain en la Administración Pública Hidráulica española, orientada a la Gobernanza del Agua en Demarcaciones Hidrográficas, ha comprendido, tras un profundo análisis del estado de la cuestión (sintetizado, parcialmente, en los epígrafes previos), la identificación de un caso de uso de máxima prioridad y su posterior modelización conceptual (o prueba de concepto) mediante la plataforma ETHEREUM (ETHEREUM Virtual Machine -EVM- y Smart Contracts -Contratos Inteligentes-) que posteriormente ha sido analizado cualitativamente -de cara a su aplicabilidad real en cuencas- con un panel de cinco expertos, mediante entrevistas semiestructuradas apoyadas en abundante material gráfico del modelo ideado.

La prueba de concepto del método experimental diseñado aborda el núcleo central de la Planificación Hidrológica, bajo su enfoque actual como disciplina: la compatibilidad del uso racional de los Recursos Hídricos (Asignaciones y Reservas) con el cumplimiento de los Objetivos Ambientales establecidos para las distintas Masas de Agua que forman parte del ámbito competencial de una Demarcación Hidrográfica (objetivos en los que el Régimen de Caudales Ecológicos -RQ_{ECO}- juega un papel vital); y lo hace desde un enfoque de gestión sostenible y adaptativa, y asumiendo las directrices y exigencias del actual marco legal de Planificación Hidrológica y Participación Pública, que condiciona directamente las características y prestaciones del modelo conceptual. En esencia, hemos configurado una solución basada en Blockchain para el seguimiento y control automatizado de la implantación del RQ_{ECO} concertado en el Plan Hidrológico 2015-2021 para la DHJ.

3.2 Condicionantes legales: Régimen Concesional y Responsabilidad.

Esta fase ‘experimental’ de nuestra investigación nos ha permitido descubrir que el marco actual de gestión en materia de Aguas está muy ‘maduro’, con un sistema concesional muy asentado, siendo de máximo interés para la Administración Pública de Servicios del Agua el analizar los títulos concesionales de cara a su repercusión sobre la Gestión Integral de Recursos Hídricos (línea futura de investigación). Sin modificar la actual Ley de Aguas, el Régimen Concesional presente necesitaría de una adaptación para otorgarle al Organismo de cuenca un ‘instrumento legal’ que esté a la altura del potencial de la tecnología Blockchain en Aguas, lo cual implica dos factores críticos: voluntad política y recursos.

Los expertos del panel consultado más cercanos a la gestión pública directa de infraestructuras y recursos hidráulicos (con un rango mínimo de Subdirectores) avisan sobre los inconvenientes legales de la ‘automatización’ vía Blockchain, particularmente



en el apartado de ‘responsabilidad legal’. Se nos prevenía, en una de las entrevistas: ‘[...] *el responsable tiene que ser siempre un humano, no un sistema informático inteligente. No porque no pueda hacerse ‘técnicamente’, como el modelo desarrollado muestra, sino, por un problema jurídico [...] en nuestro ámbito, como el resultado de una decisión humana puede ser una muerte, la asunción de responsabilidades es siempre por personas, no por máquinas [...]*’ (palabras de un antiguo Presidente de Confederación Hidrográfica). En definitiva, nuestra investigación ha destapado las interdependencias - muchas ocultas, antes de nuestro estudio- entre Sociopolítica, Ley y Tecnología, para el caso particular de la integración de la Planificación Hidrológica y Participación Pública a escala de cuenca hidrográfica (‘Gobernanza del Agua’).

3.3 Descentralización: el Agua como ‘activo digital’ (‘tokenización’)

Con nuestro estudio verificamos que la Economía del Agua es más efectiva cuando funciona para todos, depurando barreras que dificulten la participación mediante la creación de Redes o Plataformas que faciliten, a su vez, una visión distribuida de la Toma de Decisiones en Planificación Hidrológica. Entendemos que Blockchain contribuye a asegurar ‘climas de confianza’ en este ámbito decisonal, eliminando aspectos de ‘arbitrariedad’, ‘no transparencia’, ‘subjetividad’ o ‘clientelismo’, entre otros, y, por tanto, creando Instituciones Sociales fiables, un requisito crucial para la Administración Pública Hidráulica. Hemos insistido igualmente en la necesidad de progresar en ‘el registro de las cosas’, dando vida al mundo hidrográfico. Nuestro modelo, sostenido sobre Blockchain, demanda el conveniente ecosistema de dispositivos de lectura, medición y monitorización (IoT, ‘Internet of Things’), que permita instilar inteligencia en las infraestructuras hidráulicas y de control en operación, un aspecto especialmente mejorado en España con la introducción del SAIH (Sistema Automático de Información Hidrológica) y complementado con otros sistemas (por ejemplo, el SIA -Sistema de Información del Agua- Júcar, en la DHJ).

73

Tras nuestra investigación, concluimos que el desarrollo basado en Blockchain de redes flexibles y seguras en Gestión integral de Recursos Hídricos, implementables de manera ágil y accesible en términos de recursos (permitiendo la habilitación rápida de nuevos Servicios del Agua), integraría a muchos más participantes de los que hoy intervienen en la Planificación Hidrológica y generaría mucho más valor económico para la Sociedad en su conjunto. Estamos proponiendo un modelo de Gobernanza del Agua sobre redes en malla, basadas en tecnología Blockchain, como la gran alternativa al modelo jerárquico tradicional de organización, regulación y control en Planificación Hidrológica de cuencas hidrográficas. Detectamos su potencial para facilitar una mayor privacidad y seguridad, una vez que el tráfico (flujos de información, en esencia) no pasa por una organización central (si bien el Organismo de cuenca debe ser el ‘garante’ de la Gobernanza del recurso Agua ‘por’ y ‘de’ Blockchain).

Adicionalmente, dado que Blockchain actuaría como registro (‘ledger’) incorruptible de los intercambios de información asociados a los distintos aspectos de la Gobernanza del

Agua, todos y cada uno de los usuarios de la red descentralizada tendrían la ‘confianza’ de que los datos son exactos y fidedignos. Por tanto, el sistema Blockchain es esencial para desarrollar el potencial del ‘IoT hidráulico’ (SAIH; SIA; ROEA -Red Oficial de Estaciones de Aforo-; etc.), ahora descentralizado, y para facilitar el procesamiento de transacciones y la coordinación entre dispositivos hidráulicos que interactúan. Entendemos que la dupla Blockchain-IoT, hidráulicos, contribuyen a la mejora de la democratización del proceso de Planificación Hidrológica y, por tanto, a una mejor integración de la Participación Pública en dicha planificación. Queremos ver esta transformación de la Gobernanza del recurso hídrico como la ‘tokenización del Agua’, su asimilación como ‘activo digital’, de cara a su gestión efectiva. Apuntamos, por tanto, a la ‘industrialización’ de la gestión del Agua mediante Blockchain, en la que la confianza es delegada en unos dispositivos hidráulicos que pueden percibir, responder, comunicarse y actuar; una vez que ‘cobran vida’ en la Cadena de Bloques. Alentamos, de alguna manera, a un cambio de paradigma en la Planificación Hidrológica, con unas implicaciones muy potentes de cara a la Administración Pública de Servicios del Agua.

74

Desde el punto de vista del Organismo de cuenca, y todos los actores reconocidos por norma que participan en la Toma de Decisiones vinculada a la Gobernanza del Agua en Demarcaciones Hidrográficas, las oportunidades de aumentar la eficiencia, mejorar los servicios, reducir costes, incrementar la seguridad, etc., mediante Blockchain (y el reiterado IoT hidráulico) son múltiples. Con nuestra investigación y sus resultados, desde un punto de vista de la Administración Pública Hidráulica, apenas hemos empezado a reflexionar sobre los beneficios que abre el ‘registro de los dispositivos de gestión’. En la actualidad, más del 90% de las infraestructuras globales están hoy desconectadas, siendo inviable económicamente reemplazarlas por nuevos dispositivos inalámbricos interconectados.

3.4 Implicaciones tecno-sociales y legales de la adopción de Blockchain en la Administración Pública Hidráulica.

Nuestra investigación ha desvelado el cambio cultural, la resistencia a esta transformación por una parte importante de los agentes implicados en la Gestión de Recursos Hídricos (como así ha puesto de manifiesto nuestro procedimiento experimental), tanto en el ámbito Público como en el Privado (más en el primero). La Planificación Hidrológica en España es una disciplina altamente madura, muy estructurada e hipernormativizada; y a efectos de ‘digitalización’ se encuentra en una fase previa, inclusive, a la de Administración Electrónica (en la que ya están inmersos otras instancias del Sector Público español), aunque en materia de ‘sensorización’ hidrográfica se ha hecho un esfuerzo significativo (especialmente con el SAIH). La ‘automatización’ de procesos que podría servir Blockchain y Smart Contracts, sobre el ecosistema de dispositivos (‘IoT hidráulico’), está todavía muy lejana; siendo preciso que la Administración Pública Hidráulica española plantee la mejor Estrategia de Adopción de Tecnologías Distribuidas.



Tal y como concluyen en su muy reciente trabajo Hacker et al., publicado en 2019, la manera en que los agentes implicados (Sectores Público y Privado) analicen y regulen la interacción de Blockchain con el actual marco normativo determinará la redefinición del actual paradigma de Gobernanza del Agua. Las fuerzas sociales, incluida la Ley, jugarán un papel crítico en el desarrollo de la tecnología Blockchain en este ámbito estratégico de la Sociedad, de cara a su promoción y, también, a su restricción (Hacker et al., 2019: 275-289 y 311-329).

3.5 Líneas de investigación futuras

En última instancia, como cierre del presente artículo, presentamos las que consideramos líneas de investigación cruciales, futuras, a emprender, una vez que hemos detectado oportunidades de investigación en torno a ‘gaps’ pendientes de estudio:

- i. Análisis comprensible del impacto (incluidos la cuantificación económica y la priorización del rescate público de Títulos o Derechos) del actual modelo de Régimen Concesional en Aguas sobre la implantación del Régimen de Caudales Ecológicos (RQ_{ECO}) en masas superficiales tipo río (MASUP_{RIO}), como herramienta de gestión en la Administración Pública Hidráulica española para la consecución de los objetivos de la Directiva Marco del Agua (DMA). Definición de una estrategia de adaptación progresiva del Régimen Concesional actual al Régimen Concesional futuro ‘ideal’, para la adopción de Tecnologías Distribuidas (Blockchain) en ‘Gobernanza del Agua’.
- ii. Evaluación, desde una doble lectura técnica y legal, de las posibilidades reales y prácticas, de dirimir responsabilidades sobre el ‘incumplimiento’ de valores concertados en planificación (Plan Hidrológico de cuenca) asociados a las masas de aguas dentro del territorio competencia del Organismo de cuenca. Determinación de las capacidades existentes -y necesarias- (de conocimiento, métodos y tecnologías) para la identificación del usuario ‘causante último’ de dicho ‘incumplimiento’ y condicionantes normativos para la aplicación del respectivo régimen sancionador.
- iii. Estudio exhaustivo de los conflictos detectados entre la actual Normativa de Aguas y el Código Informático (Programación), en un contexto de ‘descentralización’ de la Toma de Decisiones. Definición de los límites de la ‘jurisdicción digital’ a efectos de integración de Planificación Hidrológica y Participación Pública. Evaluación de la ‘judicialización’ de Blockchain en Aguas y análisis del debate legal entorno a la aplicación de Smart Contracts en Organismos de cuenca. Impacto de las Tecnologías Distribuidas sobre el concepto de ‘cuenca’ como ‘unidad indivisible de gestión’.

- iv. Análisis de estrategias potenciales, factibles, de resolución de los dos principales retos identificados, ‘escalabilidad’ e ‘interoperabilidad’, en la adopción de Blockchain en Demarcaciones Hidrográficas. Examen de la integración de estas tecnologías con los sistemas existentes en el Organismo (Hidroinformática) para la configuración de ‘arquitecturas óptimas’ de ‘gobierno descentralizado’.
- v. Evaluación íntegra de los aspectos organizacional y cultural asociados a la Administración Pública Hidráulica española como ‘facilitadores’ u ‘obstáculos’ a la adopción de Blockchain. El Agua como ‘activo digital’ (‘tokenización’) en tiempos ‘postCOVID-19’.

BIBLIOGRAFÍA (NORMATIVA DE AGUAS POR ORDEN DE ANTIGÜEDAD)

Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico que desarrolla los títulos preliminar, I, IV, V, VI, VII y VIII del texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. BOE núm. 103 de 30 de Abril de 1986.

Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. DOUEL núm. 327 de 22 de Diciembre de 2000.

Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. Ministerio de Medio Ambiente. BOE núm. 176 de 24 de Julio de 2001.

Modificación del artículo 2, apartado 3, del Real Decreto 125/2007, de 2 de febrero, por el que se fija el ámbito territorial de las demarcaciones hidrográficas; introducida por el RD255/2013 -disposición final tercera, uno-, de 12 de abril, por el que se establece la composición, estructura y funcionamiento del Consejo del Agua de la Demarcación Hidrográfica del Júcar y por el que se modifican diversas normas relativas al ámbito y constitución de dicha demarcación hidrográfica y de la Confederación Hidrográfica del Júcar. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. BOE núm. 89 de 13 de abril de 2013.

Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica. Ministerio de Medio Ambiente. BOE núm. 162 de 07 de Julio de 2007.



ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la Instrucción de Planificación Hidrológica. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. BOE núm. 229 de 22 de Septiembre de 2008.

Informe sobre las Propuestas, Observaciones y Sugerencias al Esquema de Temáticas Importantes del Segundo Ciclo de Planificación Hidrológica: 2015–2021. Demarcación Hidrográfica del Júcar, 22 de septiembre de 2014.

Real Decreto 1/2016, de 8 de enero, por el que se aprueba la revisión de los Planes Hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar, y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tago, Guadiana y Ebro.

BIBLIOGRAFÍA

- BATUBARA, F., UBACHT, J. Y JANSSEN, M. (2018): “Challenges of blockchain technology adoption for e-government: a systematic literature review”, 9th Annual International Conference on Digital Government Research (dg.o'18). ACM, New York, NY, USA, 1-9.
- CHARTERS, S., BUDGEN, D., TURNER, M., KITCHENHAM, B., BRERETON, P. Y LINKMAN, S. (2009): “Objectivity in Research: Challenges from the Evidence-Based Paradigm”, Proceedings of the Australian Software Engineering Conference, ASWEC. 73-80.
- HACKER, P., LIANOS, I., DIMITROPOULOS, G. Y EICH, S. (2019): Regulating Blockchain: Techno-Social and Legal Challenges. Oxford University Press (UK), (1ª ed. 2019).
- HILEMAN, G. Y RAUCHS, M. (2017): Global Blockchain Benchmarking Study, Cambridge Centre for Alternative Finance. University of Cambridge, Judge Business School, Cambridge (UK), (1ª ed. 2017).
- HOU, H. (2017): “The application of blockchain technology in E-government in China”, 26th International Conference on Computer Communications and Networks, ICCCN, Vancouver, BC, (Jul. 2017), 1–4.
- LYONS, T., COURCELAS, L. Y TIMSIT, K. (2018): Blockchain and the GDPR, The European Union Blockchain Observatory & Forum. European Union (EU), (1ª ed. 2018).

LYONS, T., COURCELAS, L. Y TIMSIT, K. (2018): Blockchain for Government and Public Services. The European Union Blockchain Observatory & Forum. European Union (EU), (1ª ed. 2018).

NUNAMAKER, J.F., CHEN, M. Y PURDIN, T.D. (1990): “Systems Development in Information Systems Research”, Journal of Management Information Systems, 7:3, 89–106.

TORNATZKY, L.G., FLEISCHER, M. Y CHAKRABARTI, A.K. (1990): The processes of technological innovation, Lexington Books, Maryland (USA), (1ª ed. 1990).

ZAMARRON, I., YEPES, V. Y MORENO-JIMÉNEZ, J.M. (2017): “A systematic review of application of multi-criteria decision analysis for aging-dam management”, Journal of Cleaner Production, 147, 217-230.

