

ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA DIGITALIZACIÓN EN EL SECTOR DE LA DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN ESPAÑA

Autor: Enrique de Leyva Mérida,

Director: Gregorio López López,

Entidad Colaboradora: ICAI - Universidad Pontificia de Comillas

Resumen— En este Trabajo de Fin de Máster se estudia el impacto que tiene la digitalización en la organización, en la relación con el cliente y en los procesos y la gestión de los activos de las empresas del sector de la distribución de energía eléctrica en España.

Abstract— This Master's thesis studies the impact that digitalization has on the organization, on customer relations and on the processes and the asset management of electric power distributors in Spain.

I. INTRODUCCIÓN

La digitalización es un fenómeno que lleva impactando vertical y horizontalmente en todos los ámbitos económicos de nuestro país más de una década, impulsada principalmente por la mejora de la conectividad. No obstante, ciertos aspectos hacen que el panorama digital actual sea diferente. En primer lugar, la aparición de un nuevo tipo de consumidor con paradigmas totalmente nuevos, que se sitúa en el centro de los procesos, está más orientado a los servicios y solicita una capacidad de decisión y selección a tiempo real. Seguidamente, el conocido entorno de sostenibilidad en el que la sociedad se ve inmersa actualmente, en donde la digitalización desempeña un papel fundamental. Por último, el ritmo sin precedentes al que nuestro entorno sufre cambios, impulsado por tres drivers que forman una cadena cerrada: la mejora de conectividad impulsada por el despliegue de dispositivos *IoT*, que extiende el concepto de personas a cosas, y por el auge del 5G, que supone una ruptura de las barreras de movimiento, volumen y tiempo, la explosión de los datos que trae el desarrollo de las TIC y el *IoT*, y la proliferación de las aplicaciones de tratamiento de la información [1].

Es precisamente en este contexto de explosión de la información en el que el sector tiene que apalancarse para ofrecer un servicio adaptado al nuevo tipo de

consumidores. Por esta razón, el objetivo principal que se persigue con este Trabajo de Fin de Máster es analizar el impacto de la digitalización en el sector de la distribución eléctrica.

II. CONTEXTO

El sector eléctrico se encuentra en la actualidad en un proceso de descarbonización y transición energética envuelto en un marco internacional de sostenibilidad. Prueba de ello es que la penetración de las energías renovables se está acelerando en los últimos años – ha pasado de un 28% en 2008 a un 40% en 2018.

En este contexto, la digitalización acumula tal potencial transformador en materia de transición energética que hace fundamental la inversión en ella (ver Figura 1). Además, la digitalización contribuye a la consecución de los objetivos ODS en múltiples frentes, por ejemplo, a través del incremento de la eficiencia energética o favoreciendo aspectos como la transparencia o la sostenibilidad en el trabajo.

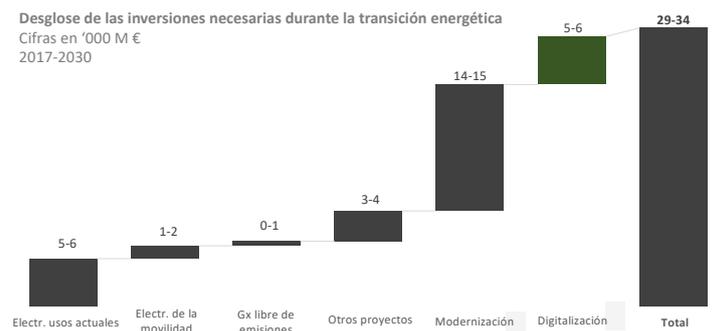


Figura 1. Desglose de las inversiones necesarias en la transición energética [2]

Respecto al contexto digital de España, el análisis *Network Readiness Index* del WEF muestra como España

TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación), *IoT* (Internet de las cosas – del inglés, *Internet of Things*), ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible)

ha mejorado considerablemente su disposición digital en los últimos años, pasando de la posición 38 en el año 2013 a la posición 25 en 2019. Por otro lado, observando el *Digital Economy and Society Index*, de la Comisión Europea, se concluye que el principal *driver* de la mejora de la disposición digital y posición competitiva de España en esta materia es la conectividad, como se adelantaba en la introducción.

Centrándose en el sector energético, si se observa la Figura 2, que compara el sector energético español con el sector energético de otros países en materia de digitalización, puede observarse que todavía hay margen de mejora en este aspecto [3].

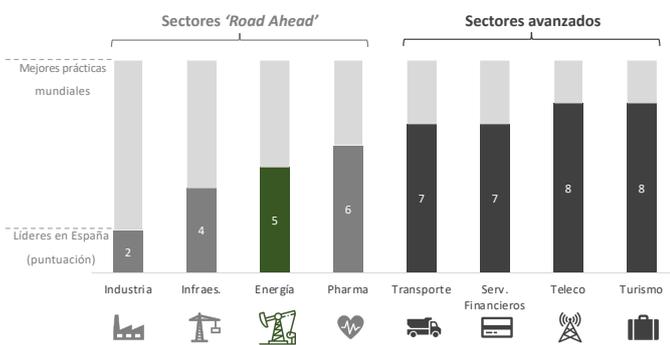


Figura 2. Barómetro del estado de digitalización de los principales sectores económicos

III. IMPACTO DE LA DIGITALIZACIÓN

Al igual que cualquier otra actividad empresarial, la digitalización en el sector de la distribución eléctrica afecta a los tres principales pilares de su cadena de valor: la organización, los procesos y la tecnología, y la relación con el cliente.

A. Impacto en la organización

En lo que a la organización respecta, la transformación digital impacta en 5 ámbitos fundamentales (ver Figura 3) buscando la consecución de un modelo operativo y de negocio basado en la persona [1].

Para sacar el máximo rendimiento a la digitalización es fundamental que las empresas comiencen por instaurar una cultura digital común. La organización debe estar centrada en las personas, alineada con la visión digital y comprometida con los esfuerzos necesarios. Para ello 3

ingredientes se plantean necesarios: el apoyo desde los niveles de liderazgo, la eliminación de silos para acercarse a una estructura de trabajo ágil alejada de la tradicional y romper con la aversión al riesgo [4].

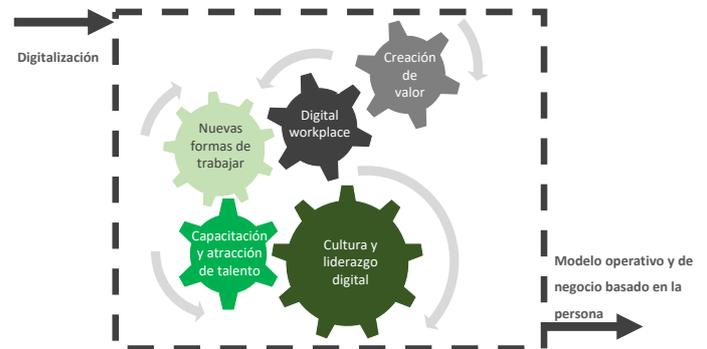


Figura 3. Impacto de la digitalización en la organización de las compañías

En las actividades de capacitación y atracción de talento, es importante tener en cuenta que la rapidez de la digitalización provoca que las nuevas tecnologías y modelos de negocio estén rápidamente disponibles para todos los actores de la industria. Lo que realmente marca la diferencia, por tanto, es la capacidad de identificar, reclutar y retener el talento digital que hace que la tecnología funcione y utilizarlo para desarrollar nuevas ideas y crear nuevas oportunidades de negocio. Para ello, hay 4 cuestiones fundamentales en materia de atracción de talento digital que hay que responder: Quién, Dónde, Cómo y Qué, es decir, comprender plenamente los perfiles digitales que hay en el mercado, analizar cómo acceder a estos perfiles, asegurarse de ser atractiva para esos perfiles tanto a nivel de captación como a nivel de retención, y definir el nivel de experiencia que se requiere de esos perfiles [5].

Respecto a las nuevas formas de trabajar, las empresas deben apalancarse en la eficiencia que proporciona la digitalización aumentando la flexibilidad y el foco en la creación de valor a través de nuevas formas de trabajo ágiles y colaborativas. En el camino a la consecución de estas nuevas formas de trabajar, es fundamental la transición al *digital workplace*. Se trata de una evolución natural resultado de rediseñar los procesos maximizando la productividad y priorizando la experiencia de los empleados, situándolos en el centro y fomentando la colaboración, la comunicación, la agilidad y la seguridad [1].

B. Impacto en el cliente

En la relación con el cliente, la digitalización se presenta como un catalizador de la aparición de ese nuevo tipo de consumidor del que se hablaba antes. Este cambio de paradigma de los clientes provoca que las empresas del sector tengan que adaptarse para ofrecer un servicio actualizado a las expectativas de los nuevos clientes.

Así, la digitalización continúa con el proceso empoderamiento del cliente que se iniciaba años atrás con la liberalización del sector y la creación del Suministro de Último Recurso en 2009, con el que pasaba de ser un simple abonado a ser un cliente activo. La aceleración digital provocará que hablemos de clientes participativos. El nuevo tipo de clientes culminará en la figura del *prosumer*, que será capaz de generar su propia energía, almacenarla y decidir cuando venderla a la red. El nuevo modelo de negocio de las distribuidoras deberá proporcionar control y sencillez al cliente y, a través de la *AI*, deberán ser capaces de proporcionar motores de decisión y personalización en tiempo real a sus clientes [1]. Además de este cambio radical, las empresas tendrán que adaptarse para poder ofrecer nuevos servicios de valor añadido que prioricen la experiencia del consumidor, como por ejemplo la posibilidad de ofrecer paquetes de energía en función del origen de ésta. Esta experiencia del consumidor deberá de ser flexible y dinámica en todos los canales para poder adaptarse al nuevo perfil de éstos. La tecnología *VR* desempeña un papel fundamental en este aspecto, dando la oportunidad a los clientes de participar en innovadoras experiencias.

C. Impacto en los procesos y la gestión de activos

En relación con los procesos y activos de distribución, la digitalización impacta en 3 áreas estratégicas y una transversal (ver Figura 4) [1].

En las actividades de inversión, la digitalización posibilitará una mejora sustancial en la toma de decisiones tanto en la adquisición de nuevos activos apoyándose en tecnologías como los gemelos digitales o las tecnologías inmersivas, como en los procesos de nueva inversión disminuyendo de manera considerable los riesgos a través de empleo de la analítica avanzada y el *Big Data*. En el lado de la planificación, la virtualización

a través de gemelos digitales y su combinación con la analítica avanzada desempeñarán un papel fundamental en la integración de los *DER* a través de la realización de simulaciones multiescenario.



Figura 4. Impacto de la digitalización en los procesos y la gestión de activos

En las actividades de *O&M*, la digitalización acumula un gran poder de optimización de los procesos. En el plano operativo, con la interconexión de los activos a través del despliegue de dispositivos *IoT* y su combinación con el *Big Data* y la analítica avanzada se logrará una operación de las redes de MT y AT mucho más autónoma, y se convertirá la red de BT en una red operable. En el plano del mantenimiento, la combinación de estas tecnologías posibilitará una gestión mucho más integrada de la red de distribución a través de la computación la nube y permitirán la adopción de estrategias de mantenimiento predictivo, que será un factor clave para asegurar la operatividad y sostenibilidad de las instalaciones. Las herramientas digitales desempeñarán un papel fundamental en la monitorización de trabajos de campo y en el aumento de la productividad en las tareas de mantenimiento, sobretodo gracias a las tecnologías inmersivas y de inspección.

En cuanto a la sostenibilidad, la digitalización permitirá el desarrollo de las operaciones en un entorno sin fallos y en unas condiciones de operación seguras.

D. Introducción a la ciberseguridad

La transición hacia la *Smart Grid* añadirá una nueva dimensión que será igual de crítica como la de mantener el equilibrio de la red y asegurar la calidad del suministro. La enorme interconexión de los activos y el constante flujo de comunicación entre los distintos agentes del

AI (Inteligencia Artificial – del inglés, *Artificial Intelligence*), *VR* (Realidad Virtual – del inglés, *Virtual Reality*), *DER* (Recursos Energéticos Distribuidos – del inglés, *Distributed Energy Resources*), *O&M* (Operaciones y mantenimiento

– del inglés, *Operations & Maintenance*), BT, MT, AT (Baja, Media y Alta Tensión)

panorama eléctrico hará que sea necesario desarrollar un ecosistema de ciberseguridad que sea resiliente y en el que será fundamental la colaboración de todos los agentes (ver Figura 5) del sector eléctrico [6].

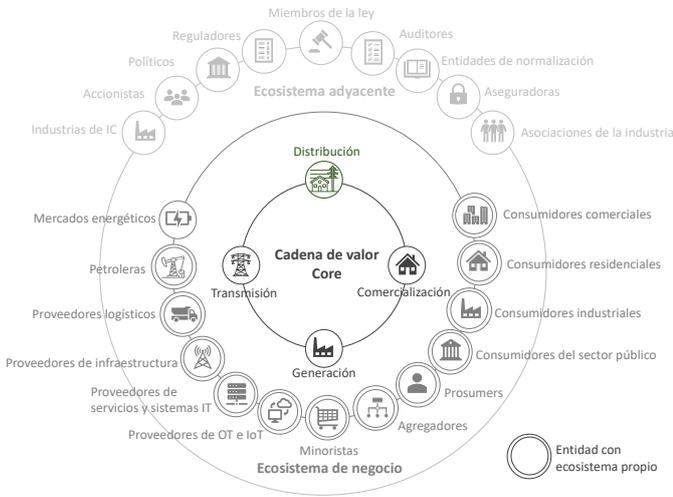


Figura 5. Ecosistema eléctrico

Además de esta colaboración de todo el ecosistema, algunos de los factores de éxito claves en la consecución de la resiliencia sistémica son: la adopción de estrategias de defensa en profundidad, la cooperación de las tecnologías *IT* y *OT*, el desarrollo de estrategias de ciberseguridad de extremo a extremo, el desarrollo de una fuerte cultura de ciberseguridad, la colaboración y concienciación sistémica, la elaboración de métricas y la adaptación a las tecnologías emergentes. Por último, la creciente descentralización de las redes a través de la penetración de los *DER* plantea la necesidad de que las organizaciones del ecosistema eléctrico, al evaluar y dar prioridad al riesgo cibernético del entorno, también tengan que considerar el posible impacto de los ataques cibernéticos a través de sistemas dirigidos y operados por consumidores, los conocidos como *Demand-Side Attacks*.

Así, en la Tabla 1 se presentan los retos identificados para el sector en materia de digitalización.

TIPO	RETO
a. Organización de las compañías	a.1 Implementación de una cultura alineada con la estrategia digital
	a.2 Desarrollo e implementación de nuevas formas de trabajo ágiles
	a.3 Desarrollo de capacidades de atracción de talento digital
	a.4 Transición hacia el <i>digital workplace</i>
b. Relación con el cliente	a.5 Desarrollo de capacidades de analítica avanzada e integración de estas en la gestión de RRHH
	b.1 Desarrollo de nuevos modelos de negocio centrados en el cliente
	b.2 Elaboración de estrategias de adaptación a las crecientes expectativas de los clientes
	b.3 Desarrollo de motores de decisión y personalización en tiempo real
c. Procesos y gestión de activos	b.4 Desarrollo de nuevos canales y experiencias de atención al cliente
	c.1 Optimización de las actividades de inversión
	c.2 Desarrollo de una red de comunicaciones propias y una plataforma de gestión integrada
	c.3 Monitorización de la red de BT
	c.4 Mantenimiento predictivo
	c.5 Desarrollo de una actividad de planificación dinámica, flexible y en tiempo real
	c.6 Automatización y optimización del análisis de contingencias y la respuesta ante incidentes
	c.7 Desarrollo de métodos de control y monitorización de las actividades en tala y poda
c.8 Productividad y sostenibilidad laboral - <i>Digital field-force</i>	
d. Ecosistema eléctrico	d.1 Desarrollo de la ciber-resiliencia sistémica mediante la colaboración total del ecosistema
	d.2 Elaboración de un nuevo marco regulatorio adaptado a las exigencias de la digitalización

Tabla 1. Retos identificados en materia de digitalización en el sector de la distribución eléctrica

En el análisis de la integración de las tecnologías digitales clave en los retos de los procesos y la gestión de activos (ver Figura 6), se concluye que el *Big Data*, la analítica avanzada, el *IoT* y el *Cloud Computing* son fundamentales en la mayoría de los retos a los que se enfrenta el sector de la distribución, que las tecnologías inmersivas y de inspección son especialmente relevantes en la mejora de la productividad de las actividades de campo, y que el *blockchain* y el gemelo digital impactan a través de casos de uso muy concretos.

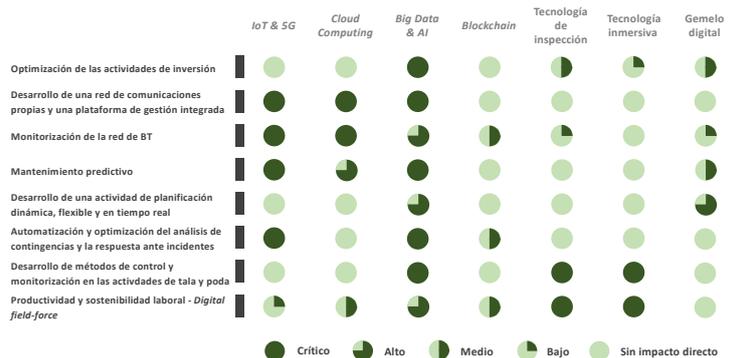


Figura 6. Matriz de impacto de las tecnologías en los retos de los procesos y gestión de activos

IV. CASOS DE USO

A. Adopción de una estrategia de mantenimiento digital

En el primer caso de uso se estudian las consecuencias que tendrían para las empresas del sector de la distribución la adopción de una estrategia de mantenimiento digital basado en 4 pilares (ver Figura 7): el mantenimiento predictivo, la gestión integrada y

IT (Tecnologías de la Información – del inglés, *Information Technologies*), *OT* (Tecnologías de Operación – del inglés, *Operational Technologies*)

automatizada, la automatización de la cadena de suministro y la *digital field-force*.

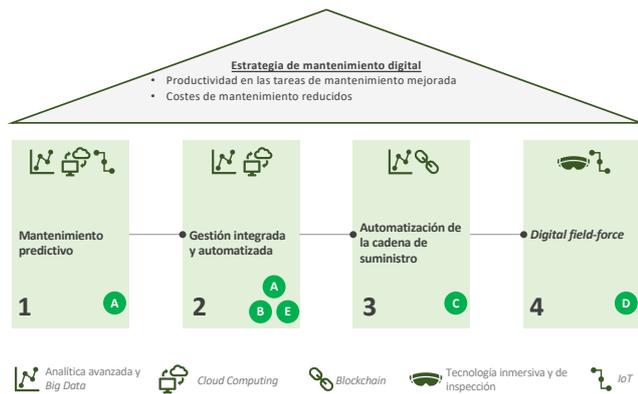


Figura 7. Palancas para la adopción de una estrategia de mantenimiento digital

Respecto a la mejora de la productividad, la naturaleza distribuida de los activos del sector de la distribución es la principal razón de las ineficiencias que se producen en las jornadas laborales de la fuerza laboral. Las largas distancias que ésta debe recorrer para llevar a cabo tareas de mantenimiento o simples actividades de inspección, unido a otras fuentes de ineficiencia como la descoordinación con la cadena de suministro de materiales se traduce en largas esperas sin realizar trabajo útil. Así, como puede observarse en la Figura 8, se calcula que la mejora derivada de una adopción de una estrategia de mantenimiento digital es de aproximadamente un 75% de ganancia de trabajo útil al día, impulsada principalmente por la eliminación de las ineficiencias en las actividades de abastecimiento a través de la automatización de la cadena de suministro.

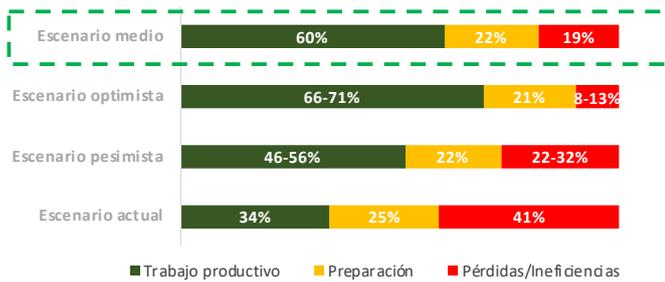


Figura 8. Potencial ganancia de productividad en las actividades de mantenimiento

En el lado de los costes, el principal *driver* de la reducción de los costes de mantenimiento es el uso del

mantenimiento predictivo. Además, la eliminación de ineficiencias en la cadena de suministro de materiales a través de su automatización no solo reduce costes en las tareas de mero abastecimiento, sino que de forma indirecta reduce costes en los desplazamientos y, combinado con las tecnologías de inspección e inmersivas, reduce aún más los costes a través de mejores ratios de productividad por parte de la fuerza de campo. Así, en la Figura 9 se muestra que la potencial reducción de los costes es de aproximadamente un 21%.

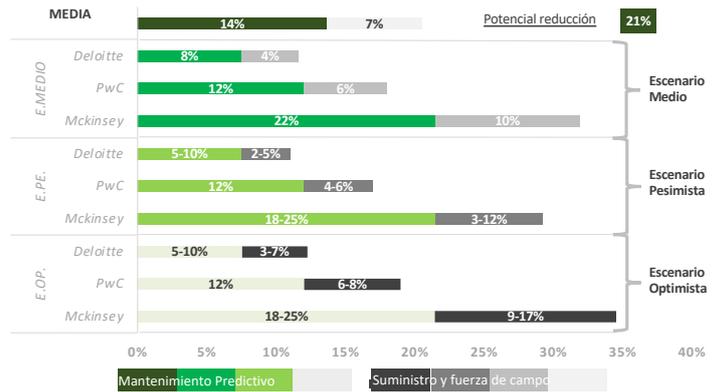


Figura 9. Potencial reducción de costes en las actividades de mantenimiento

El análisis DAFO deja claro que las debilidades derivadas de la adopción de esta estrategia tienen que ver en su mayoría con la intensidad de inversión y capacitación inicial que requiere. No obstante, el desarrollo de planes de mitigación puede hacer más sostenible la adopción de esta estrategia de mantenimiento digital.

B. Integración de los DER en la red de distribución

En el segundo caso de uso se discute el papel de algunas tecnologías digitales en la integración responsable de los DER en la red de distribución.

La aparición de nuevos entrantes en la red de distribución, como la generación distribuida, el almacenamiento energético y la participación de los clientes, ya sea a través del uso del EV o de la compraventa de energía está provocando la descentralización de las redes eléctricas. El despegue de los DER abre oportunidades potenciales sobre cómo el negocio de la red puede evolucionar a un modelo de ‘red

DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades), EV (Vehículo Eléctrico – del inglés, *Electric Vehicle*)

como plataforma' [7]. Los agentes del ecosistema eléctrico tendrán que adaptar sus modelos de negocio para posicionarse con éxito en este mercado en evolución. Además, el crecimiento agresivo de la penetración de estos recursos se traduce en mayores fluctuaciones del consumo y mayores flujos de energía bidireccionales, lo que hace más difícil mantener la estabilidad de la red. En adición, estos recursos están cambiando la configuración física del sistema y los roles de los agentes involucrados en él (ver Figura 10).

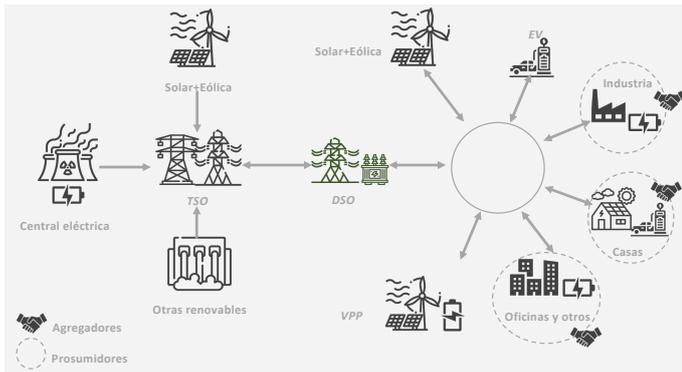


Figura 10. Agentes del sistema eléctrico dominado por los DER

A efectos prácticos, la función principal de las distribuidoras seguirá siendo la de ofrecer un servicio de distribución eléctrica eficiente, seguro y de calidad y la de encargarse de la planificación, el desarrollo, la operación y el mantenimiento de las redes de distribución de BT y MT. No obstante, a estas preocupaciones tradicionales se le suman nuevos roles, como facilitadores de mercados de servicios de flexibilidad, gestores de la información y comunicaciones entre los diferentes agentes del mercado, desarrolladores de nuevas plataformas que permitan a los prosumidores gozar de servicios innovadores.

La proliferación de estos recursos distribuidos está provocando, por tanto, la descentralización de las redes eléctricas. Es por esto por lo que los agentes del sector eléctrico deben apoyarse en las tecnologías digitales para lograr una progresiva integración de estos DER sin comprometer la estabilidad de la red eléctrica, pues el crecimiento agresivo de la penetración de estos recursos se traduce en mayores fluctuaciones del consumo y mayores flujos de energía bidireccionales, como se ha mencionado anteriormente.

Por ello, se proponen 4 palancas para la integración responsable de estos recursos (ver Figura 11): una conectividad resiliente y de baja latencia, fuertes

capacidades de analítica, una planificación dinámica y flexible y la integración progresiva del *blockchain*.

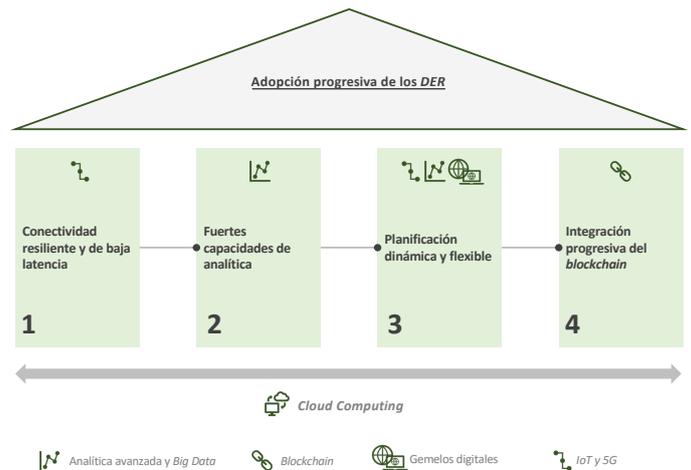


Figura 11. Palancas para la integración responsable de los DER

La multiplicación de los flujos de energía bidireccionales en la red de BT a través del almacenamiento energético, la microgeneración y la participación de la demanda hace necesario el establecimiento de intercambios de energía en tiempo real. El desarrollo de una red completamente interconectada, automatizada y de operación de baja latencia es, por tanto, fundamental para responder de manera eficaz a esas fluctuaciones que puedan poner en peligro la estabilidad de la red. Así, el despliegue de dispositivos *IoT* a lo largo de toda la red se convierte en una necesidad. La versatilidad que ofrece esta tecnología a través de la combinación de distintas tecnologías de comunicación es fundamental para asegurar el desarrollo de una red de comunicaciones propias. Además, su integración con el 5G habilita una operación de esta red de comunicaciones prácticamente en tiempo real debido a las latencias increíblemente bajas que esta tecnología es capaz de proporcionar.

La gran interconexión y sensorización de activos trae consigo la necesidad de gestionar una gran cantidad de información en tiempo real. Por ello, el *Big Data* se convierte en una tecnología necesaria para procesar todos estos los flujos de información y transacciones en tiempo real. Además, la 'activación' de la red de BT a través del *IoT* y la aplicación del *Big Data* y de algoritmos de aprendizaje automático consiguen una transición de ésta y de la red de MT a una operación mucho más autónoma. Así, el desarrollo de algoritmos de regulación automática basados en el aprendizaje automático se convierte en imprescindible, pues permiten mejorar notablemente el

análisis de contingencias con una detección más rápida de incidentes y responder más autónomamente ante los mismos. Por último, mediante el empleo de algoritmos de predicción se consigue reducir más aún la interrumpibilidad, asegurando así una mayor estabilidad y resiliencia de la red.

La proliferación de los *DER* hace necesario desarrollar planes de desarrollo de nueva infraestructura que sean flexibles y dinámicos. Una herramienta muy útil para lograr esto son los gemelos digitales. Mediante los gemelos digitales se posibilita la realización de simulaciones multiescenario donde se pueden considerar altos niveles de penetración de *DER*. A través de estas simulaciones, combinados con la analítica avanzada, se permite automatizar y simplificar las tomas de decisiones, consiguiendo encontrar la infraestructura que se necesita desarrollar para hacer frente a los puntos débiles del sistema y asegurar una integración responsable de estos recursos.

Por último, mediante la tecnología *blockchain* se consigue coordinar los flujos de datos tradicionalmente centralizados en todo el sistema de la energía, aumentar la velocidad de intercambio, mejorar la disponibilidad y la fiabilidad de los datos, mejorar la auditabilidad mediante una verificación de registros prácticamente en tiempo real, y se posibilita la transmisión de títulos de propiedad de un producto físico entre los participantes del mercado [8].

Así, los *Smart Contracts*, se presentan como la tecnología habilitadora de un mercado *Peer-to-Peer* de compraventa de energía a través de microrredes, en el que productores, consumidores y prosumidores participan en un proceso de compraventa de energía en tiempo real. Por otro lado, el *blockchain* tiene también potencial en el impulso de los mercados de flexibilidad, actuando como palanca de equilibrio entre la oferta y la demanda a través de transacciones en tiempo real. Por último, puede actuar como catalizador del proceso de electrificación de la movilidad a través de la coordinación de la red de estaciones de carga de *EV*. No obstante, la disrupción que presenta este nuevo modelo hace que la integración de esta tecnología es probable que sea a través de programas piloto con un grupo selecto de participantes en el mercado y centrados en aplicaciones funcionales específicas [9].

V. CONCLUSIONES

Como conclusiones, hay que destacar que se han cumplido todos los objetivos que se han propuesto en este Trabajo de Fin de Máster, no obstante, se han identificado líneas de investigación futuras para reforzar algunas de las conclusiones que se han obtenido con el trabajo. A saber:

- Al igual que se ha hecho con los retos de los procesos y la gestión de los activos, llevar a cabo un análisis similar para ver el papel de las tecnologías digitales en cada uno de los retos identificados en materia de organización, impacto en el cliente y el ecosistema eléctrico.
- Llevar a cabo análisis de coste-beneficio de la integración de las tecnologías digitales en cada uno de los retos identificados, de los casos de uso presentados y del impacto de los *DER* en las operaciones de las distribuidoras.
- Profundizar en las estrategias que se necesitan implementar para la consecución de la ciber-resiliencia sistémica.
- Identificar nuevos casos de uso de las tecnologías digitales en el sector de la distribución eléctrica.
- Desarrollar casos de uso del *blockchain* cuidadosamente seleccionados y diseñados para garantizar que efectivamente la tecnología aporta valor, pues su papel en la integración de los *DER* debe ser a través de casos de uso muy concretos y mediante pruebas piloto.

Por último, cabe destacar que la realización de este Trabajo Fin de Máster me ha permitido conocer mejor los retos a los que se enfrenta actualmente el sector de la distribución eléctrica y el papel que juega la digitalización, en general, y ciertas tecnologías clave, en particular, para conseguirlos, lo que me ha servido para profundizar en parte de los contenidos cubiertos por el programa del máster y que seguro me servirá de cara a mi futura carrera profesional.

VI. REFERENCIAS

- [1] Club Español de la Energía, '*Digitalización en el sector energético español*', 2019
- [2] Deloitte, '*Hacia la descarbonización de la economía: la contribución de las redes eléctricas a la transición energética*', 2018

- [3] Confederación Española de Organizaciones Empresariales (CEOE), *'Plan digital 2020: La digitalización de la sociedad española'*, 2019
- [4] Mckinsey, *'Digital success requires a digital culture'*
- [5] BCG, *'How to gain and develop digital talent and skills'*, 2017
- [6] WEF y BCG, *'Cyber Resilience in the Electricity Ecosystem: Principles and Guidance for Boards'*
- [7] BCG, *'Finding the sweet spot in Distributed Energy'*, 2017
- [8] Deloitte, *'Blockchain: Enigma. Paradox. Opportunity'*, 2016
- [9] Mckinsey, *'What every utility CEO should know about blockchain'*, 2018